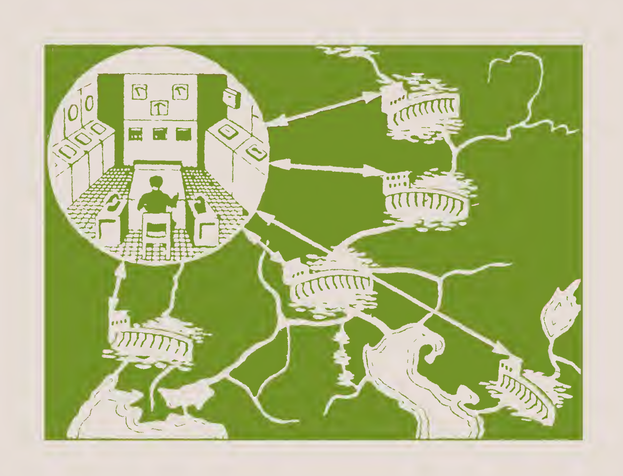



М.В.МАКСИМОВ

# ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

## ДАТЧИКИ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Датчик является необходимым элементом любого телеизмерительного устройства. Его задача заключается в том, чтобы воспринимать внешнее воздействие и превращать его в величину, удобную для дальнейших преобразований с целью передачи на расстояние. Существует большое количество типов датчиков. Основные из них приведены в таблице.

**Таблица основных типов датчиков**

| Типы датчиков | Входная (измеряемая) величина | Выходная величина |
|---|---|---|
| Реостатные, потенциометрические | Линейные и угловые перемещения | Напряжение, сопротивление |
| Емкостные | Линейные и угловые перемещения, давление | Емкость |
| Индуктивные | Линейные и угловые перемещения, давление | Индуктивность, взаимоиндуктивность, напряжение |
| Генераторные | Число оборотов | Напряжение |
| Контактные Ш | Частота тока | Длительность, частота следования импульсов и т. д. |
| Пьезоэлектрические | Давление | Напряжение |
| Фотоэлементы | Световой поток | Напряжение, сопротивление |
| Термоэлементы | Температура | Напряжение |
| Магнитоупругие | Линейные размеры, намагниченность | Намагниченность, линейный размер |
| Болометрические | Температура | Сопротивление |

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

*ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА*

*Выпуск 108*

М. В. МАКСИМОВ

# ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА








ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1951 ЛЕНИНГРАД

*Брошюра содержит обзор основных телеизмерительных систем, позволяющих осуществлять контроль на расстоянии. В ней рассмотрены существующие методы телеизмерений и указаны области их применения.*

*Брошюра рассчитана на подготовленного радиолюбителя.*

## СОДЕРЖАНИЕ



Редактор *В. С. Малов* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

**Сдано в пр-во 28/III 1951 г. Подписано к печати 7/VI 1951 г.**
**Бумага 82×108¹/₃₂—7/8 бумажных 2,87 п. л. Уч.-изд. л. 3,4.**
**Т-04482 Тир. 15 000 экз. Зак.1132**

Типография Госэнергоиздата. Москва. Шлюзовая наб., 10.

## ВВЕДЕНИЕ

Современная техника все бо́льшими темпами движется по пути сокращения длительности производственных циклов и комбинирования многочисленных производственных процессов в централизованные системы. Это делает весьма актуальным две проблемы: проблему быстродействия и проблему дальнодействия. Первая проблема может быть решена методами автоматики, вторая — методами телемеханики.

Телемеханика возникла на основе техники телеграфа и телефона. Она обогащала свои технические средства за счет радио, телевидения, оптики и акустики и развилась в самостоятельную отрасль техники и научную дисциплину. Принципиальное отличие телемеханики от телеграфа, телефона и телевидения заключается в том, что она решает задачу связи не только человека с человеком, но и человека с техническими объектами, а также между техническими объектами с целью контроля и управления ими на расстоянии.

Автоматика и телемеханика дают возможность в ряде случаев заменить человека, как исполнителя технических процессов, точными, надежными и объективными приборами и устройствами, не подверженными в процессе работы таким человеческим слабостям, как усталость, понижение чувствительности, субъективность ощущений и т. д.

Особенно широкое развитие получила автоматика и телемеханика в нашей стране, где все технические усовершенствования используются не для повышения прибылей отдельных лиц, а служат целям построения коммунистического общества.

Партия, правительство и лично товарищ Сталин всегда уделяли большое внимание вопросам внедрения новой техники в наше народное хозяйство, автоматизации и телемеханизации нашей промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

И. В. Сталин в своей речи на Первой всесоюзной конференции работников социалистической промышленности

4 февраля 1931 г. сказал: «Мы — страна самой концентрированной промышленности. Это значит, что мы можем строить нашу промышленность на основе самой лучшей техники и обеспечивать благодаря этому невиданную производительность труда, невиданный темп накопления» [1].

На совещании хозяйственников, происходившем также в 1931 г. товарищ Сталин указал, что «механизация процессов труда является той новой для нас и решающей силой, без которой невозможно выдержать ни наших темпов, ни наших масштабов производства» [2].

XVIII съездом ВКП(б) была намечена широкая программа механизации и автоматизации производственных процессов. Наряду с другими решениями, в резолюции по докладу тов. Молотова было также записано: «Расширить производство аппаратуры автоматического и телемеханического управления». В легкой промышленности внедрять «контрольную и регистрирующую технологические процессы аппаратуру». На железнодорожном транспорте «всемерно внедрять автоблокировку, диспетчерскую централизацию и применение автостопов».

Для выполнения этих задач нужно было прежде всего создать в СССР приборо- и аппаратостроительную базу, обеспечить производство средств автоматизации и телемеханизации.

За сравнительно короткий период времени были организованы в крупнейших научно-исследовательских институтах нашей страны лаборатории и отделы по автоматике и телемеханике (ВЭИ, ВТИ и др.). На многих заводах были созданы лаборатории и экспериментальные мастерские, имеющие своим назначением автоматизацию производственных процессов (лаборатория автоматики на ГАЗ им. В. М. Молотова, лаборатория на ЗИС и т. д.).

Разработка и изготовление телемеханической аппаратуры были организованы в крупнейших энергетических системах (Мосэнерго и др.). Большое значение для отечественной техники телеизмерений имели работы отраслевой лаборатории измерений (ОЛИЗ) при заводе «Электроприбор». В 1939 г. был организован в составе Академии наук СССР Институт автоматики и телемеханики, назначением которого и являлась разработка научных основ этих новых отраслей тех-

---

[1] И. В. Сталин, Вопросы ленинизма, изд. II, стр. 325.
[2] И. В. Сталин, Вопросы ленинизма, изд. II, стр. 333.

ники и содействие практическому внедрению передовых методов и технических средств автоматики и телемеханики в народное хозяйство СССР.

За время Сталинских пятилеток была заново создана указанная выше база, так как в царской России приборо- и аппаратостроительная промышленность только зарождалась в виде небольших по размерам кустарных и полукустарных мастерских.

К 1941 г. в СССР работало более 200 предприятий, изготовляющих контрольно-измерительные, регулирующие, регистрирующие и сигнальные устройства, низковольтную пускорегулирующую аппаратуру, станции управления, реле защиты и реле для автоматизации технологических процессов.

В годы Великой Отечественной войны советская автоматика и телемеханика сыграли большую роль в деле разгрома немецкой военной машины.

Укажем, что весьма широкое применение автоматика и телемеханика нашли в энергетических системах СССР, на канале им. Москвы, на газопроводе Саратов — Москва и т. д. Еще большее распространение средства автоматики и телемеханики получают на великих Сталинских стройках коммунизма.

## НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИКИ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ

Телемеханикой называют совокупность технических средств для осуществления контроля и управления на расстоянии. К числу средств телемеханики относят: телеуправление, телесигнализацию, телеизмерение и телерегулирование.

Телеизмерение — это передача измеряемой величины на расстояние при помощи вспомогательной величины. В качестве вспомогательной величины могут быть использованы интенсивность электрической энергии (ток и напряжение), частота переменного тока, частота следования импульсов и т. д. Всякое телеизмерение осуществляется с помощью телеизмерительной системы, состоящей из трех основных элементов:

а) передатчика, преобразующего измеряемую величину во вспомогательную электрическую величину;

б) канала связи, служащего для передачи вспомогательной электрической величины на необходимое расстояние;

в) приемника, осуществляющего преобразование вспомогательной электрической величины в показания прибора, указывающего или регистрирующего измеряемую величину.

Телеизмерительные устройства могут выполнять как самостоятельные, так и вспомогательные (например, в системах телерегулирования) задачи.

Телеизмерение, как и телемеханика в целом, является сравнительно новой областью техники. Впервые потребность в телеизмерительных устройствах выявилась при организации диспетчерского управления энергетическими системами. Их необходимость обусловливалась тем, что телефонная диспетчерская связь не обеспечивала достаточно быструю и исчерпывающую передачу сообщений о режиме работы электростанций. Кроме того, потребность в использовании средств телеизмерения возникла при автоматическом регулировании в крупных энергообъединениях. Если в первом случае телеизмерительные устройства выполняют самостоятельные задачи, то во втором они служат промежуточным звеном телерегулирующей системы.

Широко применяющиеся в промышленности телеизмерительные устройства выполняют задачи телеконтроля за производственными процессами. В отличие от телеизмерительных устройств, используемых в энергетических системах, устройства, предназначенные для промышленных предприятий, применяются для передачи показаний приборов на сравнительно небольшие расстояния обычно не превышающие нескольких километров. Весьма большое значение телеизмерительные системы имеют в метеорологической службе. Они значительно облегчают получение метеосводок из малодоступных мест, а иногда являются единственно возможным средством получения этих сводок, без наличия которых невозможна эффективная работа многих отраслей народного хозяйства. Автоматические метеорологические радиостанции могут периодически, по нескольку раз в сутки, передавать сведения о погоде.

Широкие возможности телеизмерений явились предпосылкой весьма интенсивного развития этой отрасли техники. В общей сложности в СССР и за границей разработано и опробовано более ста различных телеизмерительных систем.

Интенсивному росту техники телеизмерений в нашей стране особенно способствовало развитие электроники. Большое значение имел фотоэлемент, изобретенный русским ученым проф. Столетовым в 1888 г.

Применение электронных ламп и фотоэлементов позволило перейти от инерционных электромеханических приборов телеизмерения к более надежным и безинерционным устройствам. Начало советской телеизмерительной техники было положено работами проф. П. А. Молчанова и проф. М. Л. Цуккермана.

Разработанные в наших научно-исследовательских институтах и лабораториях способы и средства телеизмерений дают возможность решать любые задачи, выдвигаемые промышленной практикой в области телеизмерений. Конструкции советских телеизмерительных систем и методы телеизмерений имеют особенности, отличающие пути развития советской телеизмерительной техники от различных заграничных систем телеизмерений. Такой яркой отличительной особенностью советских телеизмерительных систем является широкое использование современных достижений техники в области электронной и ионной аппаратуры. Благодаря этому чрезвычайно расширяются возможности телеизмерительной техники, облегчается конструирование и производство приборов, улучшаются эксплоатационные свойства телеизмерительных устройств. Советские телеизмерительные системы создаются коллективным творческим трудом советских ученых и инженеров, направленным на удовлетворение потребностей нашего социалистического хозяйства.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Телеизмерительные системы по дальности действия делятся на две большие группы:

а) телеизмерительные системы ближнего действия. Дальность действия их обычно не превышает 20—25 *км*.

б) телеизмерительные системы дальнего действия. Дальность действия их достигает сотен километров.

Так как свойства и область применения любой телеизмерительной системы в значительной мере определяются вспомогательной величиной, с помощью которой измеряемая величина передается по каналу связи, эта величина и положена в основу классификации. По этому принципу все системы делятся на две основных группы:

1) системы интенсивности;

2) частотные и импульсные системы.

В качестве вспомогательной величины — эквивалента измеряемой величины — в системах интенсивности исполь-

зуется ток или напряжение. В частотных и импульсных системах вспомогательной величиной служит частота переменного тока или частота посылок импульсов, продолжительность или число импульсов.

Системы интенсивности относятся к категории телеизмерительных систем ближнего действия. В этих системах каналами связи служат физические цепи проводных линий связи.

Частотные и импульсные системы по принципу телеизмерения позволяют осуществлять передачу на дальние расстояния и относятся к категории телеизмерительных систем дальнего действия. Каналами связи для этих систем могут служить как проводные линии (в том числе и частотно-уплотненные), так и радиоканалы.

В отличие от телеизмерительных систем, использующих для передачи проводные каналы, системы, работающие по радиоканалам, называются радиотелеизмерительными системами.

## КАНАЛЫ СВЯЗИ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Для передачи телеизмерений часто применяют не только специально выделенные проводные линии связи, но и линии, одновременно используемые для других целей. Такими линиями могут быть телефонные и телеграфные линии связи, высоковольтные линии электропередачи и другие типы воздушных проводов и подземных кабелей. Требования к каналам связи определяются в основном типом телеизмерительной системы. При этом необходимо различать, с одной стороны, системы интенсивности, а с другой, — частотные и импульсные системы телеизмерений. Для первых — канал связи должен быть таким, чтобы значения тока или напряжения на передающем и приемном концах линии не различались. Следовательно, должны быть приняты специальные меры для устранения влияний изменений сопротивления проводов и проводимости изоляций, вызываемых изменениями температуры, влажности и другими внешними факторами. Особенно важно постоянство изоляции линии.

При передаче частотными и импульсными методами абсолютная величина принимаемого сигнала не играет существенной роли; необходимо лишь, чтобы сигналы имели бóльшую мощность, чем чувствительность приемника. Таким образом, в этом отношении частотные и импульсные системы предъявляют меньшие требования к каналу связи, чем си-

стемы интенсивности. Однако частотные и импульсные системы требуют каналов связи с большей полосой пропускания частот. Это иногда заставляет создавать искусственные каналы связи, а также приспосабливать телеизмерительную систему к свойствам имеющегося в наличии канала связи.

При передаче сведений по радиоканалу принципиально может быть использован любой диапазон радиочастот. В общем случае диапазон радиочастот определяется типом телеизмерительной системы, условиями распространения радиоволн и уровнем помех в месте работы той или иной радиотелеизмерительной системы.

Радиоаппаратура, применяемая в радиотелеизмерительных системах, должна обладать высокой помехоустойчивостью и надежно действовать в любых метеорологических условиях. В цепях радио- и видеочастоты передатчика и приемника должно иметь место минимальное искажение сигналов. Стремятся сделать вес и габариты аппаратуры сколь это возможно малыми. Это особенно важно для передатчиков радиотелеизмерительных систем, используемых при исследовании атмосферы.

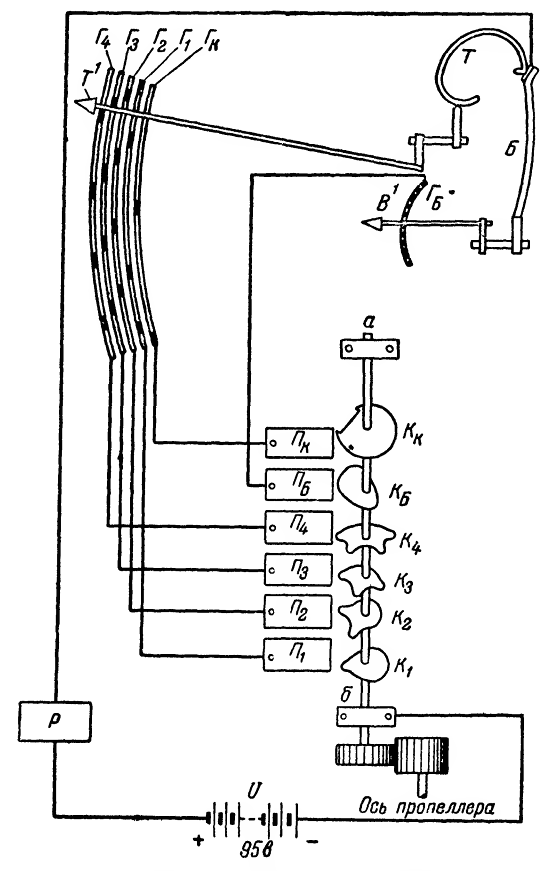
## СССР — РОДИНА РАДИОТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ

Для выполнения многих задач нашего народного хозяйства большое значение имеют данные метеорологической службы. Однако точность этих данных в значительной степени зависит от состояния различных слоев атмосферы. Для исследования атмосферы могут быть применены весьма разнообразные устройства. Самое широкое применение из всех подобных устройств получили радиозонды, являющиеся по сути дела радиотелеизмерительными системами. Первой в мире радиотелеизмерительной системой был гребенчатый радиозонд, разработанный советским ученым проф. П. А. Молчановым. Радиозонд системы П. А. Молчанова был выпущен в воздух 30 января 1930 г. в г. Павловске (под Ленинградом). С тех пор прибор претерпел изменения лишь в конструктивном оформлении и в настоящее время является достаточно точным и надежным.

Этот радиозонд состоит из следующих частей (фиг. 1):

1) датчиков измеряемых величин,
2) коммутатора *аб*,
3) радиопередатчика *Р*,
4) источника питания *U*.

Сущность прибора радиозонда заключается в следующем. Датчиком температуры является изогнутая биметаллическая пластина $T$, установленная на корпусе прибора. При изменении температуры изгиб пластины изменяется, и указатель




Фиг. 1. Схема гребенчатого радиозонда.

$T^1$ перемещается по зубчатым гребенкам $Г_1Г_2Г_3Г_4Г_к$. Зубцы гребенок $Г_1Г_2Г_3Г_4$, имеющие одинаковую длину, расположены так, что после зубца гребенки $Г_1$ следуют зубцы $Г_2$, $Г_3$ и $Г_4$, затем снова зубец гребенки $Г_1$ и т. д. Гребенки и зубцы изолированы друг от друга и от корпуса и

соединены с пластинами $П$ соответственных номеров. Против пластин $П$ на оси коммутатора *аб* расположены подвижные контакты — звездочки $К$ с числом лучей у каждой, равным номеру противолежащей пластины. Коммутатор соединен с пропеллером. Датчик температуры включен последовательно с радиопередатчиком $Р$ и источником питания $U$, питающим радиопередатчик. При вращении коммутатора звездочки $К$ касаются пластин $П$. За один оборот коммутатора звездочка $К_4$, имеющая четыре луча, коснется пластины $П_4$ четыре раза, звездочка $К_3$ коснется пластины $П_3$ три раза и т. д. Радиопередатчик будет излучать радиоимпульсы только тогда, когда какая-нибудь звездочка коснется соответствующей пластины, соединенной с гребенкой, на зубце которой расположен указатель $Т'$.

Таким образом, при установке указателя $Т'$ на зубце гребенки $Г_1$ цепь радиопередатчика будет замыкаться звездочкой $К_1$ один раз за один оборот коммутатора и, следовательно, будет послан один радиоимпульс; при установке указателя $Т'$ на зубце гребенки $Г_2$ будет послано два радиоимпульса и т. д. Следовательно, по характеру сигналов можно определить гребенку, на зубце которой стоит указатель $Т'$.

При изменении температуры указатель $Т'$ будет перемещаться с зубцов одной гребенки на зубцы другой. Это повлечет соответствующую смену характера сигналов. Зная начальное положение указателя $Т'$ на гребенках, соответствующее ему значение температуры и чувствительность прибора (величину перемещения указателя $Т'$ при изменении температуры на один градус), можно по порядку смены сигналов установить момент перехода указателя $Т'$ с одной гребенки на другую и определить значения температуры, соответствующие этим моментам. Однако при такой простой системе необходима непрерывная передача сигналов.

Для определения температуры в случае временного перерыва передачи в системе предусмотрена контрольная гребенка $Г_к$. Звездочка $К_к$, соответствующая контрольной гребенке, представляет собой диск с вырезанным сектором в 72°. Она создает при одном обороте коммутатора длинный контакт с коротким разрывом. Расстояние между зубцами гребенки $Г_к$ равно восьмикратной угловой величине одного зубца. Этим обеспечивается определенная комбинация звуков на выходе радиоприемника, по которой можно судить о величине температуры в данный момент времени.

Датчиком давления является коробка Бурдона $Б$, которая под влиянием изменения давления передвигает вдоль гребенки $Г_Б$ указатель $В^1$. Гребенка $Г_Б$ состоит из металлических (серебряных) зубцов различной ширины: двух узких, одного широкого и т. д. Звездочка $К_Б$, расположенная около пластины $П_Б$, соединенной с гребенкой $Г_Б$, имеет один луч в виде сектора круга с дугой в 72°. Передача температуры и давления может осуществляться одновременно, независимо друг от друга. Благодаря тому, что звездочка $К_Б$ расположена так, что она своим лучом закрывает вырезанный сектор звездочки $К_к$ при положении указателя $Б^1$ на каком-либо серебряном зубце гребенки $Г_Б$, все температурные сигналы будут иметь при подъеме последний сигнал, а при спуске — первый, удлиненным, без изменения числа сигналов. При положении же указателя $Т'$ на контрольном зубце и указателя $Б^1$ на серебряном контакте будет получаться непрерывный сигнал. По комбинации сигналов ведется запись протокола и определяются давление и температура. Если добавить датчик влажности, то кроме давления и температуры радиозонд может измерять и влажность.

## ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ИНТЕНСИВНОСТИ

В системах интенсивности измеряемая величина преобразуется в более пригодную для телепередачи величину — ток или напряжение. Преобразование может осуществляться либо непосредственно, либо автоматическим компенсационным способом, когда всякое действие первоначальной величины компенсируется подобным же действием вспомогательной величины, используемой для передачи. Поэтому системы интенсивности подразделяются на системы с непосредственным преобразованием во вспомогательную величину и компенсационные системы.

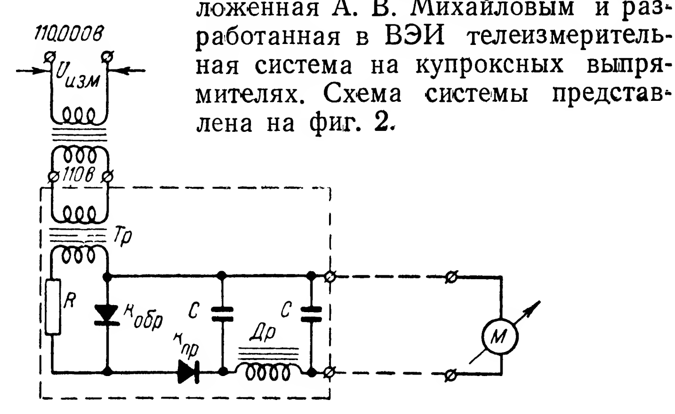
### 1. СИСТЕМЫ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ВО ВСПОМОГАТЕЛЬНУЮ ВЕЛИЧИНУ

Эти системы являются наиболее простыми в конструктивном отношении, легко обслуживаемыми и надежными в эксплоатации телеизмерительными системами. Они нашли широкое применение в промышленности и энергетике как системы ближнего действия. Преобразование измеряемой величины во вспомогательную величину может быть осуще-

ствлено с помощью выпрямителей, двигатель-генераторов постоянного тока, переменных сопротивлений, соединяемых с измерительными приборами, и т. д.

Системы, в которых в качестве преобразователей используются выпрямители, назаваются выпрямительными системами.

**Выпрямительные системы.** В 1934 г. Мосэнерго для телеизмерения переменного напряжения была применена предложенная А. В. Михайловым и разработанная в ВЭИ телеизмерительная система на купроксных выпрямителях. Схема системы представлена на фиг. 2.




Фиг. 2. Принципиальная схема выпрямительной системы ВЭИ.

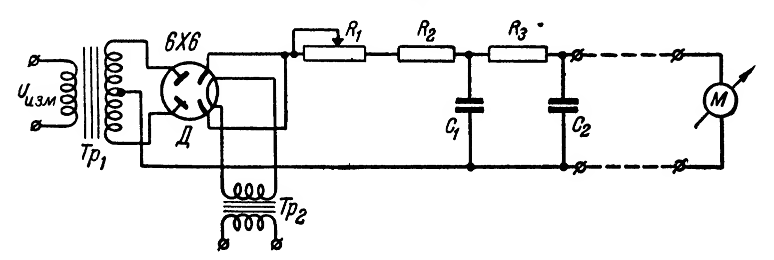
Измеряемое напряжение $U_{изм}$ через маломощный промежуточный трансформатор *Тр* поступает на однополупериодный купроксный выпрямитель. Для сглаживания пульсаций тока применен фильтр, образованный дросселем *Др* и конденсаторами *С*. Для целей компенсации температурных влияний в схему включено сопротивление большой величины *R*. Приемным прибором является миллиамперметр постоянного тока *М*. Максимальное значение тока в линии составляет 3—4 *ма*.

В процессе эксплоатации системы выявилась недостаточная стабильность ее работы, вызванная изменением с течением времени характеристик купроксных выпрямителей. Вследствие этого пришлось отказаться от применения системы ВЭИ.

Более благоприятными свойствами обладают системы, использующие электронные выпрямители. Первая система с электронным выпрямителем была разработана в 1934 г. А. В. Фремке в ОЛИЗ при заводе «Электроприбор».

В 1938 г. усовершенствованный вариант такой системы был создан в Лаборатории телемеханики и автоматики Главэнерго (Ленинград) под руководством Н. Ф. Гаркуши. Схема системы представлена на фиг. 3.

Измеряемое напряжение $U_{изм}$ через промежуточный трансформатор $Тр_1$, подается на аноды маломощного двойного диода типа 6Х6. Накал диода осуществляется от сети переменного тока 120—220 *в* через понижающий трансформатор $Тр_2$. В цепь выпрямленного тока включены балластные сопротивления $R_1$, $R_2$ и $R_3$, выполненные из проволоки с низким температурным коэффициентом сопротивления




**Фиг. 3. Принципиальная схема электронно-выпрямительной системы.**

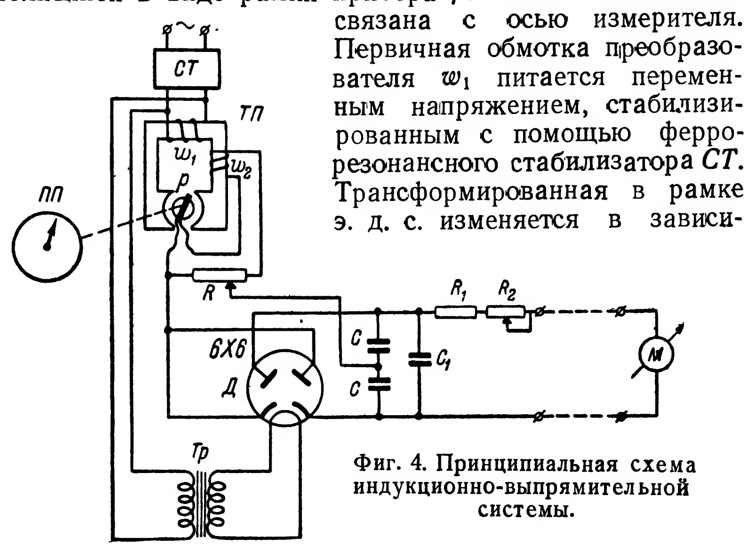
(манганина). Суммарная величина этих сопротивлений во много раз превышает сопротивление цепи линии связи и составляет около 50 000 *ом*. Благодаря этому сводятся к минимуму погрешности телеизмерения, вызываемые изменением сопротивления линии связи, а также и погрешности от изменения проводимости выпрямительной лампы. Кроме того, эти сопротивления в сочетании с конденсаторами $C_1$ и $C_2$ образуют фильтр, сглаживающий пульсации выпрямленного тока. Выпрямленный ток, пропорциональный измеряемому напряжению, измеряется на приемной стороне гальванометром *М*. Максимальное значение тока в линии — около 1 *ма*.

При использовании в качестве канала связи телефонного кабеля дальность действия системы достигает 20 *км*. Общая погрешность телеизмерения не превышает 2%. Описанная телеизмерительная система широко применяется в энергосистемах СССР.

**Индукционно-выпрямительная система.** Индукционно-выпрямительная система была разработана А. В. Фремке в ОЛИЗ и усовершенствована на заводе «Электропульт»,

где в настоящее время организован серийный выпуск телеизмерительной аппаратуры этого типа. Система пригодна для телеизмерения как электрических, так и неэлектрических величин, измеряемых первичным прибором (фиг. 4).

Первичный прибор *ПП* сочленяется с трансформаторным (индукционным) преобразователем *ТП*. Последний представляет собой трансформатор с подвижной вторичной обмоткой, выполненной в виде рамки прибора *р*. Рамка механически связана с осью измерителя. Первичная обмотка преобразователя $w_1$ питается переменным напряжением, стабилизированным с помощью феррорезонансного стабилизатора *СТ*. Трансформированная в рамке э. д. с. изменяется в зависимости от угла поворота рамки, а следовательно, от показания измерителя. Последовательно с рамкой включается дополнительная обмотка $w_2$. Число витков этой обмотки подбирается таким, чтобы при нулевом показании первичного прибора результирующее напряжение было равно нулю.



**Фиг. 4. Принципиальная схема индукционно-выпрямительной системы.**

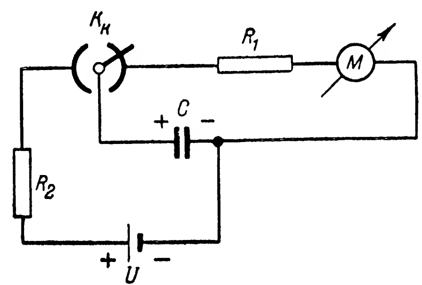
Результирующее напряжение выпрямляется с помощью двухполупериодного выпрямителя по схеме с удвоением напряжения. Таким образом, ток в линии пропорционален углу отклонения стрелки первичного прибора. Максимальное значение тока в линии — 1 *ма*.

Дальность действия системы при передаче по телефонному кабелю около 20 *км*. Погрешность телеизмерения, включающая погрешность первичного прибора, не превышает 3%.

Система может использоваться и для передачи суммарных показаний. В этом случае включаются последовательно вторичные цепи нескольких индукционных преобразовате-

лей; выпрямленный ток при этом пропорционален сумме показаний первичных приборов.

**Конденсаторный анемометр.** В 1942 г. по схеме, предложенной С. И. Зилитникевич, в Главной геофизической лаборатории был разработан конденсаторный анемометр, обладающий свойствами телеизмерительного прибора. Для осуществления измерения используется принцип периодического заряда и разряда конденсатора. Основным достоинством нового прибора является независимость его показаний от изменений сопротивления линии связи.



Фиг. 5. Упрощенная принципиальная схема конденсаторного анемометра.

Упрощенная принципиальная схема конденсаторного анемометра представлена на фиг. 5. Контактный коммутатор $K_к$ имеет одну пару контактных пластин. Следовательно, одному обороту щетки коммутатора соответствует один период заряда и разряда конденсатора $C$. В общем случае число контактов может быть равно $к$. Тогда при числе оборотов коммутатора $n_0$ будет иметь место $N = n_0 к$ циклов зарядно-разрядного тока в секунду.

При напряжении источника питания $U$ средний ток заряда конденсатора, протекающий через измерительный прибор $M$, будет равен

$$I_0 = CU \cdot n_0 к.$$

Такое значение будет иметь и средний разрядный ток конденсатора. Следовательно, протекающий через прибор $M$ ток пропорционален числу оборотов коммутатора, вращаемого пропеллером под действием силы ветра. Скорость вращения пропеллера определяется скоростью ветра. Из формулы следует, что показания прибора не зависят от сопротивлений схемы. Необходимо отметить, что это справедливо только при практически полном заряде и разряде конденсатора $C$. Если в качестве измерительного прибора применить не гальванометр, а логометр, то показания последнего не будут зависеть также и от изменений напряжения источника питания $U$.

Опыт эксплоатации систем с непосредственным преобразованием во вспомогательную величину показывает, что на малых расстояниях передачи они удовлетворительно решают задачи количественного телеконтроля.

## 2. КОМПЕНСАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Основным недостатком большинства систем с непосредственным преобразованием во вспомогательную величину является зависимость показаний прибора приемника от изменения параметров линии связи, а также от изменения напряжения источников питания.

Эти недостатки в значительной степени устраняются применением компенсационных систем телеизмерения.

В компенсационных системах действие первоначальной величины автоматически компенсируется подобными же действиями вспомогательной величины, используемой для передачи. Автоматическая компенсация осуществляется либо способом уравновешивания вращающих моментов основного (дающего) и дополнительного (компенсационного) приборов, либо методом непосредственной компенсации напряжения или тока в линии.

Советские компенсационные системы представлены главным образом системами постояного тока. Эти системы особенно пригодны при измерениях на расстояниях до 20—30 *км*.

**Фотокомпенсационная система ВЭИ — НИИТ.** В ВЭИ А. В. Михайловым и в НИИТ Ю. Т. Корниловым была разработана фотокомпенсационная телеизмерительная система. На фиг. 6 представлена принципиальная схема варианта системы, принятого в НИИТ.

Действие схемы заключается в следующем. Коаксиально с первичным прибором $П_1$ устанавливается магнитоэлектрический прибор *К*. Эти приборы соединены между собой спиральной пружиной *Пр*. На оси прибора *К* помещается легкая пластинка *П* с узкими щелями. Неподвижная пластинка $П_н$ имеет такие же щели. Вместе с поворотом оси измерительного прибора поворачивается пластинка *П*. Соответственно этому изменяется освещенность фотоэлемента *Ф* от лампы *л* и его фототок. Этот ток усиливается триодом *Л*, в анодную цепь которого включены линия $Л^1$ и приемный измерительный прибор *М*. Кроме того, анодный ток $I_а$ обтекает рамку компенсирующего прибора *К*, созда-

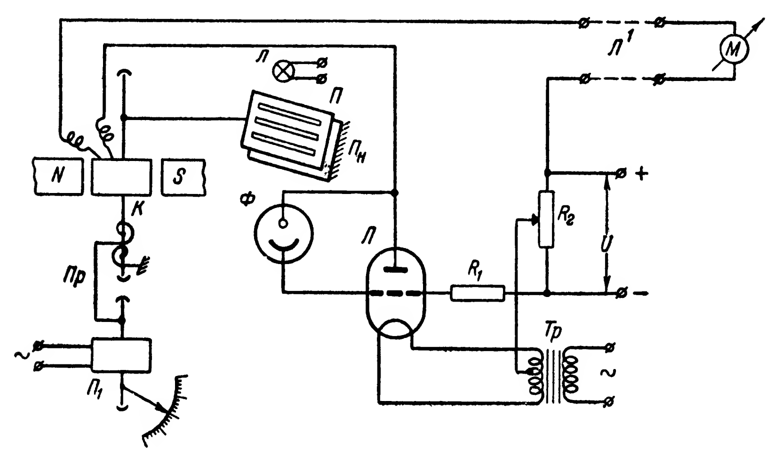
вая в ней момент $M_K$, направленный навстречу моменту измерителя $M_И$, и равный,

$$M_К = KI_a.$$

При равенстве $M_К$ и $M_И$ получаем:

$$I_a = K'f(\alpha),$$

где $\alpha$ — угол поворота стрелки прибора $П_1$. Отсюда следует, что анодный ток является функцией отклонения стрелки первичного прибора $П_1$. При изменениях тока в линии,



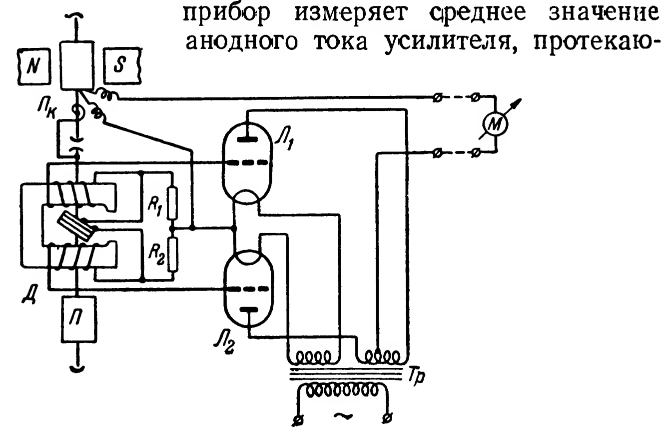

**Фиг. 6. Принципиальная схема фотокомпенсационной телеизмерительной системы.**

вызванных действием различных посторонних факторов, освещенность фотоэлемента всегда будет изменяться до тех пор, пока ток $I_a$ не будет соответствовать показанию первичного прибора $П_1$. Следует указать, что как в описанной, так и в других подобных компенсационных системах влияние понижения изоляции линии не компенсируется.

Система ВЭИ в основном аналогична описанной и отличается лишь тем, что в схеме предусмотрены элементы (дроссель в цепи линии связи и конденсатор, шунтирующий рамку компенсационного прибора), предупреждающие возникновение автоколебательного процесса. Максимальная погрешность фотокомпенсационной системы составляет 2%. Эта система использовалась в ряде энергосистем СССР.

**Компенсационная система с питанием переменным током.** В 1939 г. П. И. Евдокимовым предложена компенсационная система телеизмерения с питанием непосредственно от сети переменного тока. Схема системы показана на фиг. 7. На этой схеме: *П* — первичный измерительный прибор, *Д* — датчик, *П* — компенсирующий прибор, $Л_1$, $Л_2$ — усилитель, *М* — приемный прибор.

Принцип действия системы аналогичен принципу действия вышеописанных компенсационных систем. Приемный прибор измеряет среднее значение анодного тока усилителя, протекаю-




Фиг. 7. Принципиальная схема компенсационной системы с питанием переменным током.

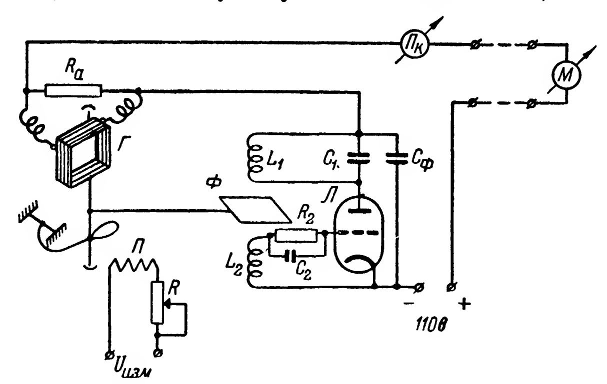
щего по линии. Достоинством системы является отсутствие выпрямителя для питания схемы.

**Токоуравновешенная система ЦЛЭМ Мосэнерго.** В Центральных лабораториях Московской энергетической системы (ЦЛЭМ Мосэнерго) под руководством О. К. Квицинского разработана компенсационная система, в которой в качестве регулятора тока в линии связи используется генератор высокочастотных колебаний с переменной обратной связью.

На фиг. 8 представлена принципиальная схема системы применительно к телеизмерению напряжения.

Дающим прибором является щитовой вольтметр *П*. Роль компенсационного прибора выполняет магнитоэлектрический гальванометр *Г*, включенный в анодную цепь высокочастотного генератора *Л*. С дающим прибором и компенсационным гальванометром соединен флажок *Ф*. Моменты дающего прибора и компенсационного гальванометра стре-

мятся повернуть флажок в противоположные стороны. При отсутствии измеряемого напряжения флажок выведен из зазора между катушками $L_1$ и $L_2$ высокочастотного генератора *Л*. В катушке $L_2$ наводится значительная э. д. с., и вследствие этого постоянная составляющая анодного тока генераторной лампы *Л* близка к нулю. При появлении измеряемого напряжения флажок входит в зазор между катушками, связь между катушками ослабляется, и постоян-




Фиг. 8. Принципиальная схема токоуравновешенной системы Мосэнерго.

ная составляющая анодного тока увеличивается до максимума. Под действием момента компенсационного гальванометра флажок начинает перемещаться обратно в сторону уменьшения постоянной составляющей анодного тока до величины, при которой моменты дающего и компенсирующего приборов уравновешиваются. Следовательно, постоянная составляющая анодного тока генератора пропорциональна моменту вращения, развиваемому дающим прибором. Этот ток измеряется приемным прибором *М*.

# ЧАСТОТНЫЕ И ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ

## 1. ЧАСТОТНЫЕ СИСТЕМЫ

При частотных методах телеизмерений по линии связи передается переменный ток, частота которого изменяется в соответствии с изменением измеряемой величины. Достоинством частотных методов является то, что изменения интенсивности тока, вызванные изменениями параметров линии связи, не оказывают влияния на точность телеизмере-

ния до тех пор, пока мощность, поступающая на вход приемника, лежит в пределах его чувствительности. Поэтому частотные системы являются системами дальнего действия. Кроме того, частотные методы позволяют легко осуществить многократные телеизмерения.

Решающим фактором, определяющим качество такой системы, является изготовление электронного генератора, частота которого была бы функцией лишь измеряемой величины и была бы стабильна в отношении всех других влияний.

В большинстве случаев для изменения частоты генератора в зависимости от измеряемой величины в колебательный контур генератора включается конденсатор переменной емкости, ротор которого механически связывается с осью дающего измерительного прибора. На приемной стороне частота измеряется электронным частотомером.

В нашей стране разработан ряд оригинальных частотных систем (системы ЦНИЭЛ МЭС, ОРГРЭС и др.), удачно решающих основные задачи частотных телеизмерений.

**Частотная система ЦНИЭЛ МЭС.** В течение 1948—1949 гг. в Центральной научно-исследовательской электротехнической лаборатории (ЦНИЭЛ) МЭС была создана частотная телеизмерительная система по схеме, предложенной В. С. Маловым. Она успешно прошла испытания и с середины 1949 г. находит применение в энергосистемах. С помощью этой телеизмерительной системы может производиться телеизмерение как электрических, так и неэлектрических величин. Для телепередачи могут использоваться проводные линии связи и высокочастотные каналы по линиям электропередачи высокого напряжения.

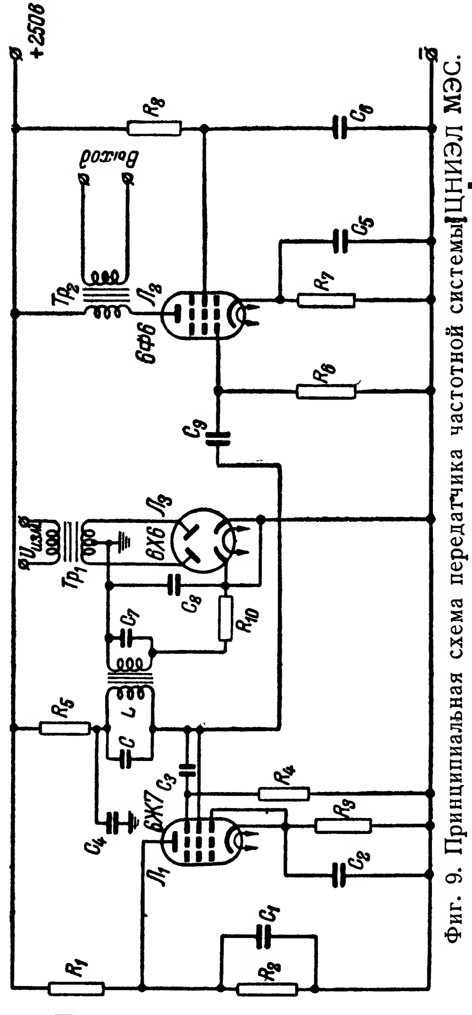
Принципиальная схема передающей установки, применительно к телеизмерению напряжения, показана на фиг. 9. Основным элементом передатчика является ламповый генератор синусоидальных колебаний, выполненный по транзитронной схеме. В качестве генераторной лампы использован пентод типа 6Ж7 ($Л_1$). Изменение частоты генератора производится с помощью дросселя насыщения $L$, включенного в колебательный контур генератора. Насыщение дросселя изменяется постоянным током, поступающим от первичного преобразователя измеряемой величины в постоянный ток $Л_3$.

Зависимость частоты колебаний генератора от подмагничивающего тока линейна на рабочем участке характеристики.

Преобразователем измеряемой величины в постоянный ток в случае телеизмерений тока и напряжения служит обычный двухполупериодный выпрямитель $Л_3$. Сопротивление $R_{10}$ применяется для сведения к минимуму изменений тока за счет изменений проводимости диода, а также для уменьшения влияния изменений сопротивления цепи управляющей обмотки дросселя насыщения при колебаниях температуры.

При измерениях мощности и неэлектрических величин производится преобразование угла поворота первичного измерительного прибора в постоянный ток. Для передачи суммарных величин достаточно осуществить суммирование по принципу сложения токов или напряжений, создаваемых преобразователями измеряемой величины в постоянный ток.

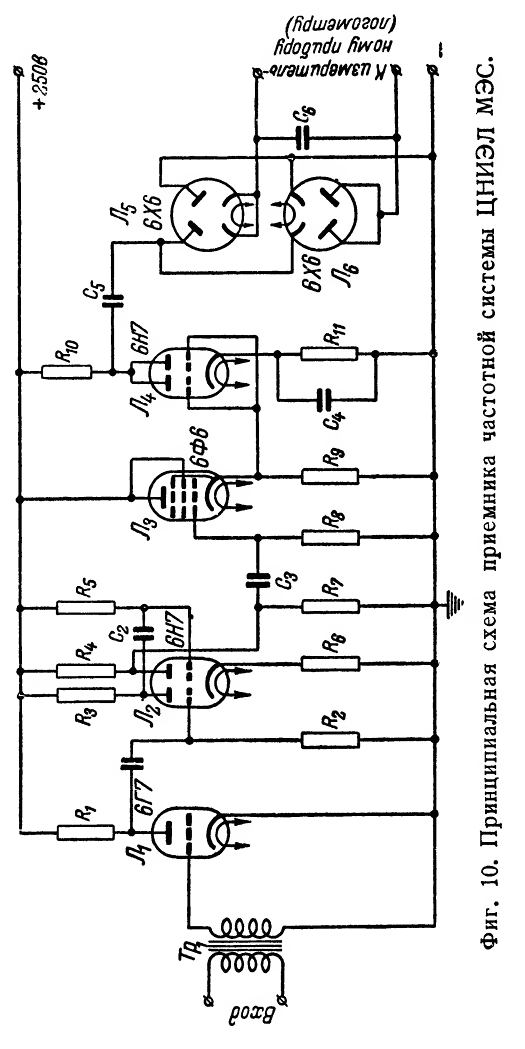
Синусоидальное напряжение переменной частоты с выхода генератора поступает на вход трансформаторного усилителя мощности $Л_2$ и посылается в канал связи.



Фиг. 9. Принципиальная схема передатчика частотной системы ЦНИЭЛ МЭС.

Приемником служит электронный частотомер, снабженный преобразовательным каскадом. Напряжение поступает на вход реостатного усилителя $Л_1$ (фиг. 10). Усиленное напряжение подается на сетку левой лампы возвратно-спуско-

вой схемы $Л_2$. Нормально эта лампа заперта смещением, образованным на сопротивлении $R_6$ за счет анодного тока нормально открытой правой лампы. Положительная полуволна синусоидального напряжения открывает левую лампу. На сопротивлении $R_3$ появляется и увеличивается падение напряжения за счет анодного тока левой лампы. Так как напряжение источника питания постоянно, то напряжение между сеткой и катодом правой лампы уменьшается на величину, равную падению напряжения на сопротивлении $R_3$. Это вызывает уменьшение анодного тока правой лампы, уменьшение смещения на сетке левой лампы, увеличение ее анодного тока, увеличение падения напряжения на сопротивлении $R_3$ и т. д. Этот процесс, происходящий весьма короткое время, приводит к запиранию правой лампы. Конденсатор $C_2$, заряженный за время существования отрицательной полуволны синусоидального напряжения на сетке левой лампы до напряжения источника питания, начинает теперь перезаряжаться по цепи $R_5$ — $C_2$ — анод левой лампы — ка-



Фиг. 10. Принципиальная схема приемника частотной системы ЦНИЭЛ МЭС.

тод — $R_6$. Перезаряд конденсатора $C_2$ вызывает увеличение потенциала сетки правой лампы. Через некоторое время, зависящее от постоянной времени перезаряда конденсатора $C_2$, этот потенциал достигает величины, достаточной для отпирания правой лампы. Открытие правой лампы вызывает запирание левой. В таком состоянии схема остается до прихода следующей положительной полуволны синусоидального напряжения. Вследствие большой скорости протекания процессов отпирания и запирания ламп возвратно-спусковой схемы на сопротивлении $R_4$ будут возникать импульсы почти прямоугольной формы и постоянной длительности, определяемой постоянной времени перезаряда конденсатора $C_2$. Частота следования этих импульсов будет равна частоте синусоидального напряжения. После прохождения через катодный повторитель $Л_3$ эти импульсы воздействуют на схему электронного частотомера.

Частотомер собран по несимметричной двухтактной схеме с одним конденсатором $C_5$, соединенным последовательно с двухполупериодным выпрямителем. При такой схеме через прибор протекает как зарядный, так и разрядный ток конденсатора $C_5$. Средний ток прибора будет пропорционален частоте следования импульсов с выхода возвратно-спусковой схемы, т. е. частоте передатчика. В качестве измерительного прибора используется магнитоэлектрический логометр.

Питание системы осуществляется от сети переменного тока, выпрямляемого с помощью выпрямителя. Суммарная погрешность системы не превышает 2,5%.

## 2. ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ

По характеру вспомогательных величин, используемых для телеизмерения, импульсные телеизмерительные системы делятся на времяимпульсные, частотноимпульсные, числоимпульсные и кодоимпульсные.

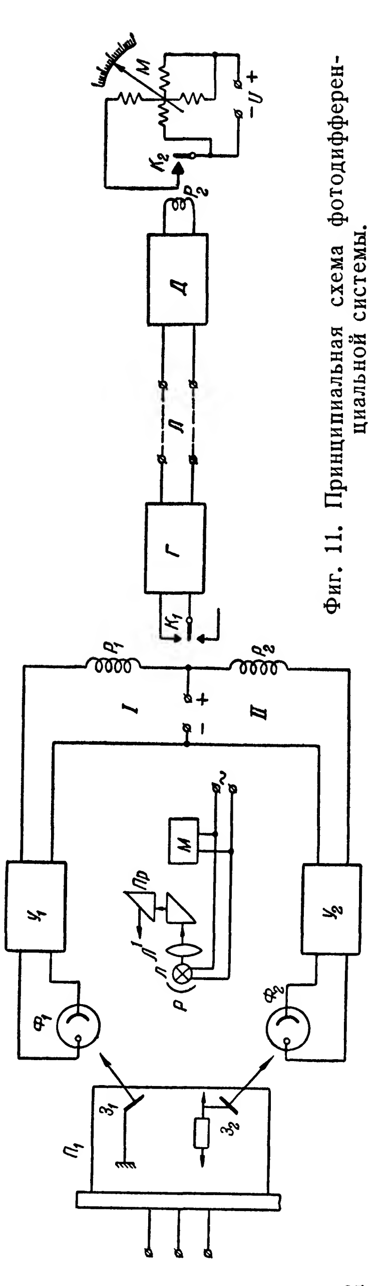
**а) Времяимпульсные системы.** Во времяимпульсных системах в качестве вспомогательной величины используется или длительность импульса, или интервал между импульсами. Основные достоинства времяимпульсных систем заключаются в том, что они могут быть приспособлены для телеизмерения неэлектрических величин и позволяют осуществлять многократные телеизмерения. Однако большие конструктивные сложности и необходимость синхронизации

работы передатчика и приемника при многократных телеизмерениях пока ограничивают их применение. Ниже приводится описание нескольких таких систем.

*Фотодифференциальная система.* В НИИТ была разработана предложенная Н. Ф. Гаркушей времяимпульсная система, получившая название фотодифференциальной. Принципиальная схема системы показана на фиг. 11.

С прибором $П_1$, показания которого подлежат передаче, связаны два зеркальца: $З_1$ — неподвижное, закрепленное у начала шкалы прибора, и $З_2$ — подвижное, закрепленное на стрелке прибора. Оптическая часть датчика состоит из осветительной лампы *л*, рефлектора *Р*, линзы $Л^1$, пары призм *Пр* и миниатюрного двигателя *М*.

Двигатель *М* вращает призмы *Пр*, и луч света, идущий от осветительной лампы *л*, за один оборот двигателя *М* освещает и неподвижное и подвижное зеркальце. Луч света, отраженный от неподвижного зеркальца $З_1$, освещает фотоэлемент $Ф_1$. Возникающий ток фотоэлемента $Ф_1$ усиливается усилителем $У_1$ и поступает в обмотку дифференциального реле $Р_1$. Реле замыкает контакт $К_1$, включая генератор *Г*. Луч света, отраженный от зеркальца $З_2$, освещает фотоэлемент $Ф_2$. Ток фотоэлемента $Ф_2$



Фиг. 11. Принципиальная схема фотодифференциальной системы.

усиливается усилителем $У_2$ и также поступает в дифференциальное реле. Дифференциальное реле $P_1$ при этом переключает свой контакт, выключая генератор $Г$. Таким образом, значение измеряемой величины преобразуется в длительность импульса.

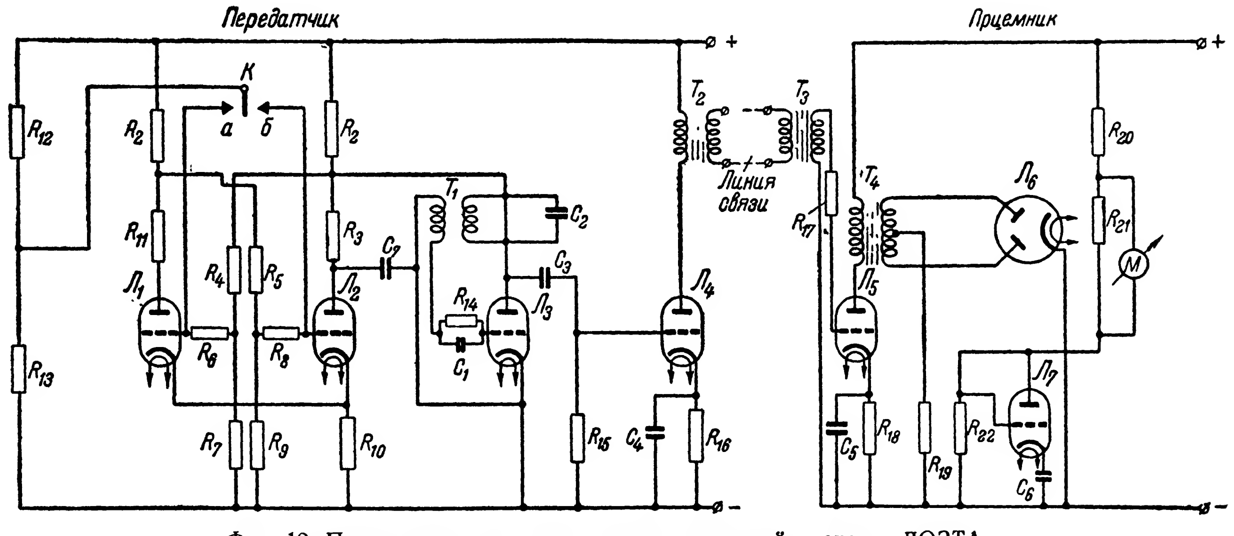
На приемной стороне после детектора $Д$ включено реле $P_2$, которое замыкает контакт $K_2$ при приходе импульса из линии связи $Л$. Логометр $M$ измеряет среднее значение тока, пропорциональное относительной длительности импульса. Питание логометра осуществляется от местного источника напряжения $U$.

Недостатком этой системы является наличие электромеханических реле, затрудняющих точную передачу и воспроизведение длительности импульса. Поэтому впоследствии была разработана телеизмерительная система, не содержащая механических контактных элементов. Для этой цели электромеханические реле заменены тиратронами. Принцип действия этой системы совпадает с только что описанным.

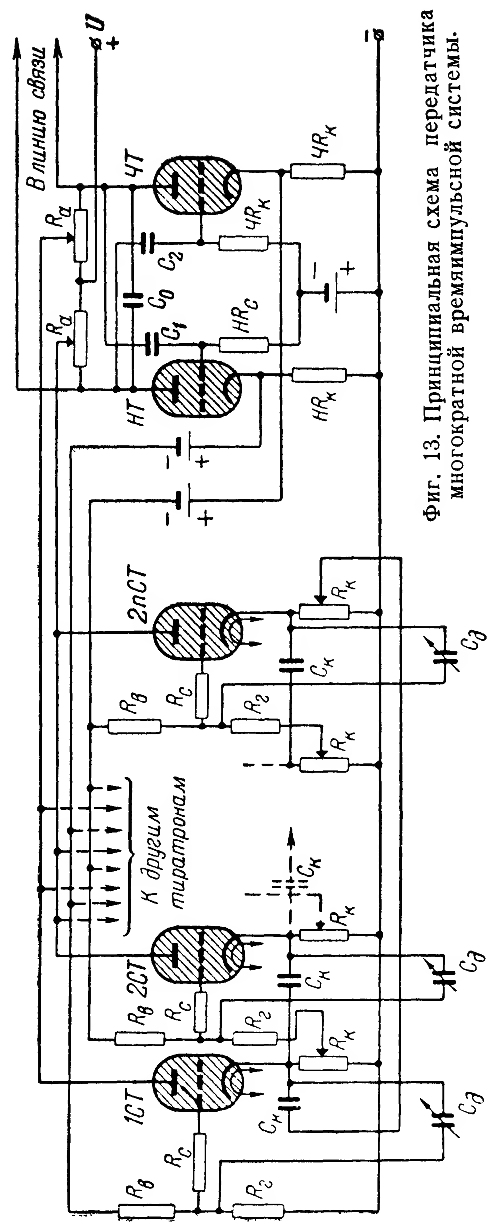
*Времяимпульсная система ЛОЗТА.* Ленинградским опытным заводом телемеханики и автоматики (ЛОЗТА) также была создана времяимпульсная система, принципиальная схема которой представлена на фиг. 12.

Первичным измерительным прибором служит ваттметр (на схеме не показан). Щеточка $K$ вращается синхронным двигателем и поочередно касается контактов *а* и *б*, один из которых расположен несколько левее нулевой отметки шкалы, а второй — на стрелке ваттметра. Лампы $Л_1$ и $Л_2$ — мультивибратор, преобразующий «точечные» контакты в соответствующую длительность импульса. Лампа $Л_3$ — генераторная. Генератор возбуждается на время прохождения щеточки $K$ от контакта *а* до контакта *б*. Таким образом, длительность посылки импульса зависит от показаний ваттметра. Лампа $Л_4$ — усилительная.

Поступающий из линии импульс усиливается лампой $Л_5$ приемной установки и выпрямляется лампой $Л_6$. Измерительный прибор $M$ — магнитоэлектрический миллиамперметр, измеряющий среднее значение тока. Среднее значение тока пропорционально относительной продолжительности импульса. Для устранения погрешности от изменения напряжения источника питания приемного устройства в приемнике применен стабилизатор напряжения феррорезонансного типа.




Фиг. 12. Принципиальная схема времяимпульсной системы ЛОЗТА.



Фиг. 13. Принципиальная схема передатчика многократной времяимпульсной системы.

Описанная система нашла применение в наших энергетических системах.

*Многократная времяимпульсная система.* Схема этой системы предложена Б. К. Щукиным в 1947 г. Для поочередной передачи показаний каждого прибора применена тиратронная кольцевая распределительная схема (фиг. 13).

Число тиратронов равно числу первичных измерительных приборов. С сопротивлений $HR_к$ и $ЧR_к$, включенных в цепях катодов тиратронов *НТ* и *ЧТ*, образующих задающий генератор релаксационных колебаний, напряжение подается на сетки четных *2СТ*, *4СТ* и т. д. и нечетных *1СТ*, и *3СТ* и т. д. тиратронов распределительной схемы. При зажигании тиратрона *НТ* зажигается тиратрон *1СТ*. Напряжение, снимаемое с части сопротивления $R_к$, включенного в цепь катода тиратрона *1СТ*, частично компенсирует смещение на сетке тиратрона *2СТ*, и тиратрон подготавливается к зажиганию. После гашения тира-

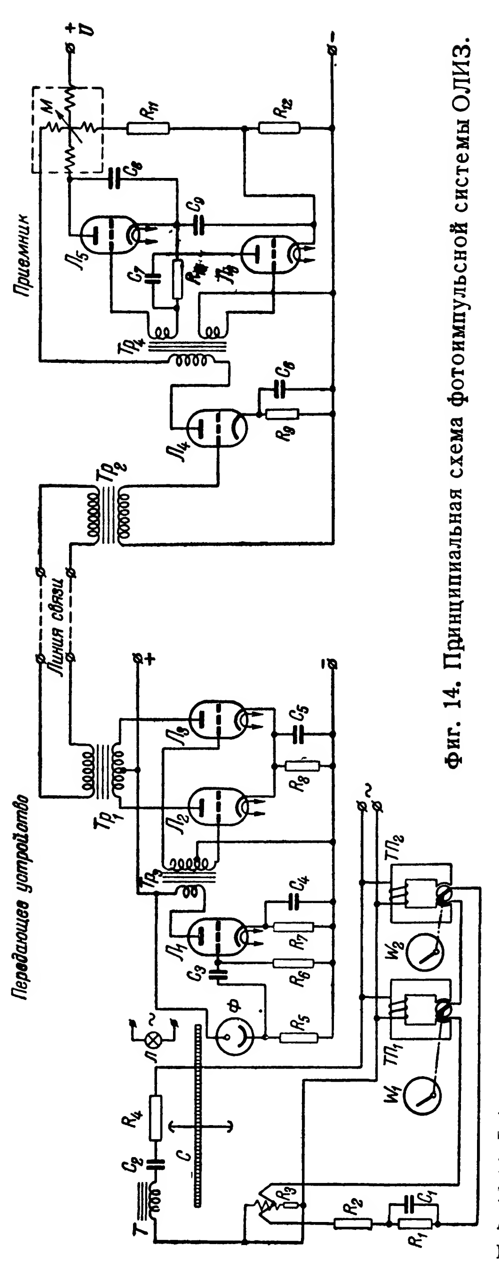
трона *НТ* загорается тиратрон ЧТ. Последний зажигает уже подготовленный тиратрон *2СТ*. Тиратрон *2СТ* подготавливает тиратрон *3СТ*, который зажигается при следующем зажигании тиратрона *НТ*, и т. д. Последний тиратрон подготавливает первый, и цикл повторяется. Гашение тиратронов происходит при помощи опрокидывающих схем. В линию связи поступают импульсы, снимаемые с анодных сопротивлений $R_a$ тиратронов *НТ* и *ЧТ*. Амплитуда импульса определяется суммой падения напряжения от токов тиратрона *ЧТ* или *НТ* и одного из тиратронов распределительной схемы. Длительность горения тиратрона распределительной схемы пропорциональна углу отклонения подвижной системы измерительного прибора. Последняя связана с осью переменного конденсатора $C_д$, включенного в цепь сетки данного тиратрона распределительной схемы.

В приемной части используется электронно-лучевая трубка, на экране которой нанесен ряд шкал для показаний отдельных измерительных приборов. Электронный луч производит световую отметку поочередно на всех шкалах в соответствии с длительностями импульсов, поступающих из линии связи.

**б) Частотноимпульсные системы.** Вспомогательной величиной для телеизмерений при частотноимпульсном методе является частота следования импульсов, т. е. число их посылок в единицу времени.

*Первая промышленная телеизмерительная система в СССР.* К частотноимпульсным системам относится система, предложенная проф. М. Л. Цуккерманом и разработанная ОЛИЗ при заводе «Электроприбор». Это — первая телеизмерительная система, освоенная промышленностью. На протяжении 1932—1940 гг. она прошла эксплоатационную проверку в энергетических системах. В литературе эта система известна под названием фотоимпульсной системы ОЛИЗ. С помощью фотоимпульсной системы, предназначенной для телеизмерений на больших расстояниях, могут передаваться как электрические, так и неэлектрические величины. Принципиальная схема ситемы приведена на фиг. 14. Схема изображена применительно к телеизмерению суммарной мощности.

Первичными измерителями в этой системе служат ваттметры $W_1$ и $W_2$, подвижные части которых соединены с пово-




Фиг. 14. Принципиальная схема фотоимпульсной системы ОЛИЗ.

ротными катушками уже описанных выше трансформаторных преобразователей *ТП* (см. фиг. 4). Подвижные рамки преобразователей соединены последовательно, и, при соблюдении постоянной суммирования результирующая э. д. с. пропорциональна сумме показаний ваттметров. Подвижные катушки преобразователей питают одну из обмоток так называемого «счетчика стабильной скорости» *С*. Последний отличается от обычного счетчика тем, что в нем тормозной постоянный магнит заменен электромагнитом *Т*, питаемым от того же источника напряжения, что и неподвижные катушки трансформаторных преобразователей; обмотка последовательной цепи перемотана — увеличено число витков. Скорость вращения счетчика стабильной скорости пропорциональна сумме показаний ваттметров и в широких пределах не зависит от изменений напряжения и частоты питающей сети переменного тока. Цепь $R_1C_1$, создающая условия резонанса в цепи

подвижных катушек преобразователей и обмотки счетчика стабильной скорости, применяется для компенсации обратного действия подвижных катушек на ваттметры.

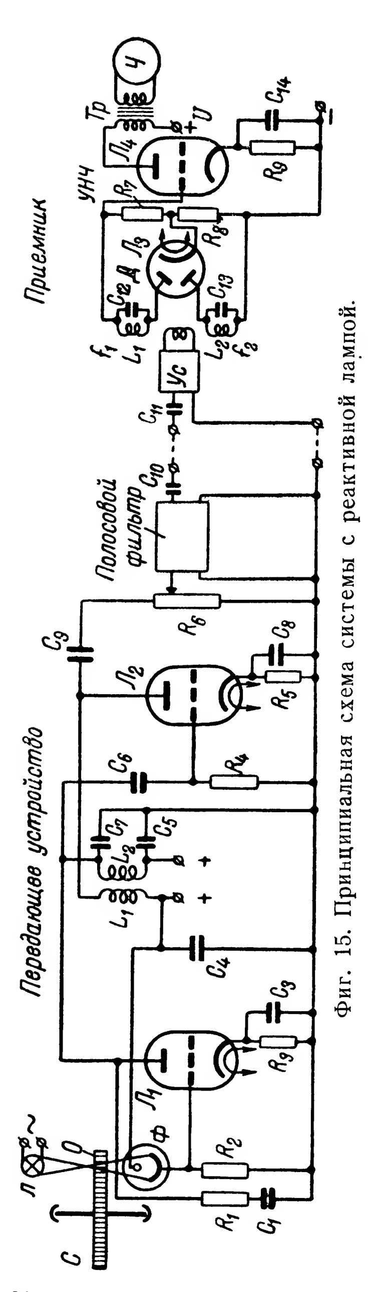
На периферии диска счетчика *С* расположено 100 отверстий, прерывающих при вращении диска световой поток от осветительной лампочки *л*, направленный на фотоэлемент *Ф*. Частота импульсов тока фотоэлемента пропорциональна скорости вращения диска счетчика. Лампы $Л_1$, $Л_2$ и $Л_3$ — усилитель фототока. Диапазон изменения частоты 4—44 *гц* (частота 4 *гц* соответствует нулевому значению измеряемой величины).

Приемник работает по принципу преобразования средней силы тока, пропорциональной частоте поступающих импульсов. Лампа $Л_4$ служит для усиления сигнала. На сетки нормально запертых ламп $Л_5$ и $Л_6$ напряжение с выходного трансформатора $Тр_4$ подается в противофазе, и следовательно, эти лампы отпираются поочередно. Периодичность зарядов и разрядов конденсаторов $C_8$ и $C_9$ определяется частотой приходящих импульсов. В качестве измерительного прибора используется логометр *М*. Среднее значение импульсов зарядного тока, протекающего через прибор, пропорционально частоте импульсов.

Принцип фотоимпульсной системы ОЛИЗ в последующие годы получил развитие в новых частотноимпульсных системах с фотоимпульсными датчиками. Подобные системы эксплоатируются в ряде энергетических систем.

*Система с реактивной лампой.* Ниже описывается одна из систем с фотоимпульсным датчиком, предложенная в 1939 г. П. И. Евдокимовым. Принципиальная схема системы представлена на фиг. 15.

Датчиком служит счетчик электрической энергии *С*, число оборотов диска которого пропорционально измеряемой мощности. На диск с прорезями *О* счетчика энергии падает свет от осветительной лампы *л*. Под диском помещен фотоэлемент *Ф*. Когда лампа *л*, прорезь диска *О* и фотоэлемент *Ф* находятся на одной прямой, фотоэлемент освещается, и возникает фототок. Импульсы фототока поступают на сетку реактивной лампы $Л_1$, эквивалентной индуктивности. Индуктивность высокочастотного контура с катушкой индуктивности $L_2$ изменяется в соответствии с изменениями фототока. Вследствие этого изменяется и частота колебаний, генерируемых каскадом $Л_2$. В результате при




Фиг. 15. Принципиальная схема системы с реактивной лампой.

освещенном фотоэлементе генерируется напряжение частоты $f_1$, а при неосвещенном фотоэлементе — частоты $f_2$.

Приемная установка состоит из усилителя *Ус*, двух фильтров $L_1 C_{12}$ и $L_2C_{13}$, один из которых настроен на частоту $f_1$, а другой — на частоту $f_2$, детектора *Д*, усилителя низкой частоты *УНЧ* и частотомера *Ч*.

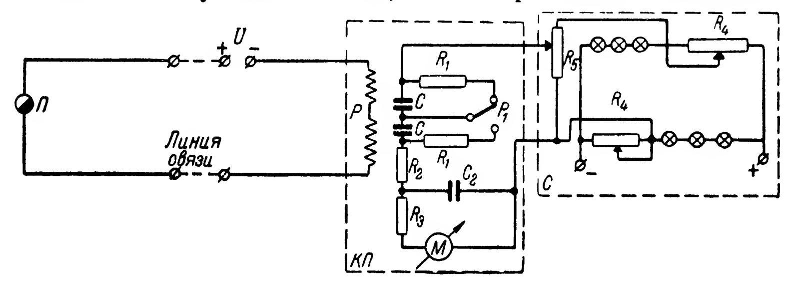
*Частотноимпульсная система Мосэнерго.* Частотноимпульсная система Мосэнерго применяется для телеизмерения мощности и напряжения. Принципиальная схема системы показана на фиг. 16.

Датчиком служит трехфазный счетчик электрической энергии с коллектором-прерывателём *П* на оси. При вращении счетчика в линию связи посылаются импульсы тока с частотой, пропорциональной измеряемой величине. Максимальная частота импульсов 8—10 *гц*.

На приемной стороне эти импульсы принимаются линейным реле *Р*. Последнее своим контактом $P_1$ поочередно включает один из конденсаторов *С* на заряд, а другой — на разряд. Указывающий прибор (гальванометр) *М* измеряет среднее значение зарядного тока, пропорционального частоте следования импульсов. Для сглаживания пульсаций тока в цепи прибора применен фильтр, образованный конденсатором $C_2$ и сопротивлениями

$R_2$ и $R_3$. Фильтр, реле $P$, конденсаторы $C$ и сопротивления $R_1$ образуют так называемый конденсаторный преобразователь *КП*. Для стабилизации питающего напряжения применен стабилизатор напряжения $C$, собранный по мостовой схеме и работающий на принципе использования нелинейности вольтамперных характеристик ламп накаливания. Сопротивления $R_4$ служат для регулировки напряжения при замене ламп, а потенциометр $R_5$ — для изменения напряжения на выходе стабилизатора.

В устройствах, изготовленных в последние годы для сглаживания пульсаций тока, вместо реостатно-емкостного




Фиг. 16. Принципиальная схема частотноимпульсной системы Мосэнерго.

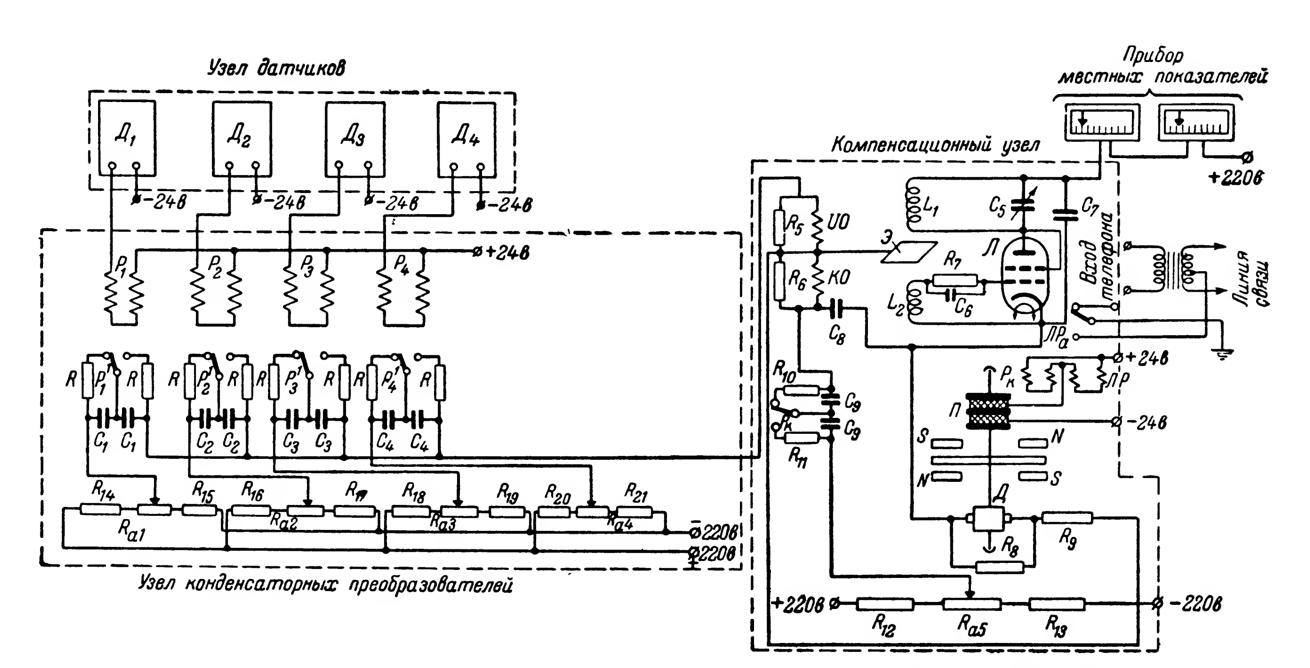
фильтра используется трансформаторный фильтр. В этом случае приемный измерительный прибор включается таким образом, что импульсный ток протекает по первичной обмотке трансформатора и по рамке прибора. Кроме того, по рамке прибора протекает ток, наведенный во вторичной обмотке трансформатора; этот ток имеет направление, противоположное току в первичной обмотке трансформатора. В результате вычитания этих двух токов ток в цепи прибора сглаживается. Схема трансформаторного фильтра предложена А. В. Богословским в 1944 г.

Частотноимпульсные системы, подобные описанной, получили широкое распространение вследствие их схемной и конструктивной простоты. Слабым местом этих систем является коллектор-прерыватель датчика, требующий регулярной чистки и регулировки.

Для суммирования показанной мощности разработан ряд специальных устройств. Ниже описывается сумматор, применяемый в Мосэнерго при значительном числе слагаемых.

*Компенсационный конденсаторный сумматор*. На фиг. 17 представлена принципиальная схема компенсационного конденсаторного сумматора частотноимпульсной системы Мосэнерго. Датчиками $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$, $Д_4$ являются трехфазные счетчики электроэнергии с коллекторами-прерывателями на оси. При вращении подвижных систем счетчиков в обмотки реле $P_1$, $P_2$, $P_3$, $P_4$ посылаются импульсы постоянного тока, частоты следования которых пропорциональны скоростям вращения подвижных систем счетчиков. Число счетчиков и реле равно числу генераторов, суммарная мощность которых подлежит телеизмерению. Контакты $P_1^1$, $P_2^1$, $P_3^1$ переключают конденсаторы преобразователей $C_1$, $C_2$, $C_3$, $C_4$. Средний ток каждого конденсаторного преобразователя пропорционален мощности соответствующего генератора. Токи отдельных конденсаторных преобразователей складываются.

Суммарный ток конденсаторных преобразователей преобразуется в пропорциональную ему частоту импульсов с помощью компенсационной схемы. Преобразование происходит следующим образом. На оси дифференциального гальванометра с обмотками *ИО* и *КО* укреплен легкий алюминиевый лепесток *Э*, перемещаемый при вращении подвижной системы гальванометра между индуктивностями $L_1$ и $L_2$ анодного и сеточного контуров генератора высокочастотных колебаний *Л*. Если измеряемая мощность равна нулю, то лепесток *Э* находится вне зазора между индуктивностями $L_1$ и $L_2$, и в катушке $L_2$ индуктируется значительное напряжение высокой частоты. Постоянная составляющая анодного тока при этом незначительна, так как сетка лампы получает большое отрицательное смещение. Реле $P_к$ включено через прерыватель *П* на оси двигателя постоянного тока *Д* с постоянными магнитами. Обмотки *КО* и *ИО* гальванометра включены так, что они действуют в противоположные стороны: измерительная обмотка *ИО* при протекании по ней тока стремится ввести лепесток *Э* в зазор, а компенсационная обмотка *КО* — вывести его из зазора между индуктивностями $L_1$ и $L_2$. Когда постоянная составляющая анодного тока генераторной лампы *Л* мала, двигатель *Д* вращается медленно, и реле *ЛР*, включенное через прерыватель на оси двигателя *Д*, своим контактом $ЛР_а$ посылает в линию связи импульсы малой (начальной) частоты. При появлении измеряемой мощности по обмотке *ИО* протекает ток конденсаторных




Фиг. 17. Принципиальная схема компенсационного конденсаторного сумматора.

преобразователей, и лепесток $Э$ входит в зазор между индуктивностями $L_1$ и $L_2$.

Связь между катушками ослабляется, в результате чего постоянная составляющая анодного тока, а следовательно, и скорость вращения двигателя $Д$ увеличиваются. Вследствие повышения частоты срабатываний реле $P_к$ увеличивается ток в обмотке $КО$. При равенстве токов в обмотках $КО$ и $ИО$, имеющих одинаковое число витков, момент вращения становится равным нулю, и подвижная часть гальванометра сохранит новое положение. В соответствии с этим устанавливаются положение лепестка $Э$ и скорость вращения двигателя $Д$.

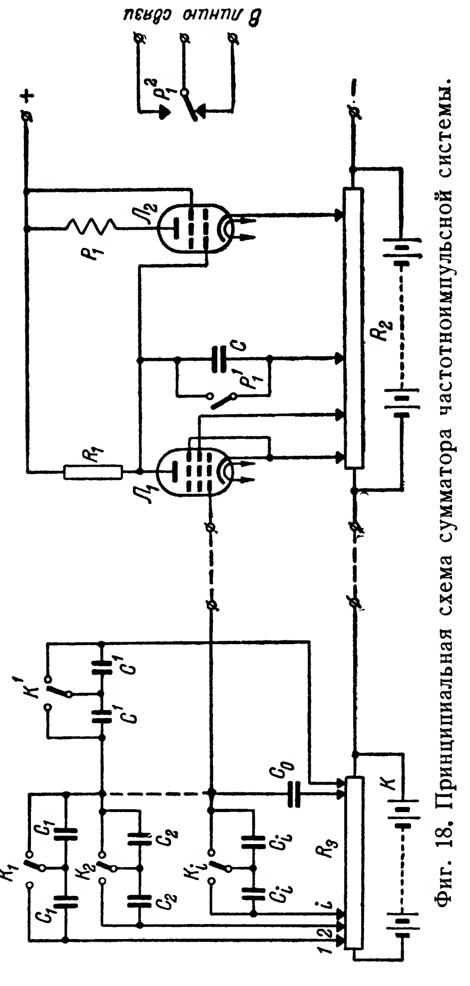
Следовательно, каждому значению измеряемой мощности соответствует определенная скорость вращения двигателя $Д$ и определенная частота импульсов, поступающих в линию связи. Так как схема является компенсационной, изменение параметров лампы и напряжения питания не влияет на точность измерения. Потенциометры $R_{a1}$—$R_{a5}$ служат для регулировки схемы. Конденсатор обратной связи $C_8$ служит для лучшего успокоения схемы при толчках тока в компенсационной обмотке при заряде и разряде конденсаторов $C_9$.

Принцип сумматора позволяет суммировать мощности неограниченного числа генераторов. Сравнительная сложность схемы и наличие высокочувствительного дифференциального гальванометра снижают достоинства этого сумматора.

В последних конструкциях сумматора Мосэнерго вместо электродвигателя применяется релаксационный генератор с поляризованным реле, управляющим работой компенсационного конденсаторного преобразователя и посылкой импульсов в линию связи. В остальном принцип действия сумматора аналогичен описанному.

*Сумматор частотно-импульсной системы.* В 1944 г. А. В. Богословским было предложено устройство для телеизмерения суммарных показаний нескольких измеряемых величин (фиг. 18). В устройстве контакты реле $K_1$, $K_2$... ...$K_i$, связанных с частотноимпульсными датчиками, переключаются с частотой, пропорциональной измеряемым величинам. При пульсациях контакта $K_i$ напряжение на конденсаторе $C_0$ начинает возрастать. Оно воздействует на электронное реле (лампы $Л_1$ и $Л_2$) и заставляет пульсиро-

вать реле $P_1$ с частотой, пропорциональной входному напряжению. Пульсации реле вызываются зарядом и разрядом конденсатора $C$. Пульсации контакта $K'$ (реле $P_1$) приводят к уменьшению напряжения на конденсаторе $C_0$ и, следовательно, к уменьшению частоты пульсации реле $P_1$ и его контакта $K'$. При определенном напряжении на конденсаторе $C_0$ заряды, протекающие по цепям $1$, $2...i$, будут сниматься цепью $K$. Тогда частота пульсаций реле $P_1$ будет пропорциональна сумме измеряемых величин. С помощью контакта $P_1^2$ (реле $P_1$) посылаются импульсы в линию связи. Вследствие использования компенсационного метода система нечувствительна к колебаниям напряжения питания.

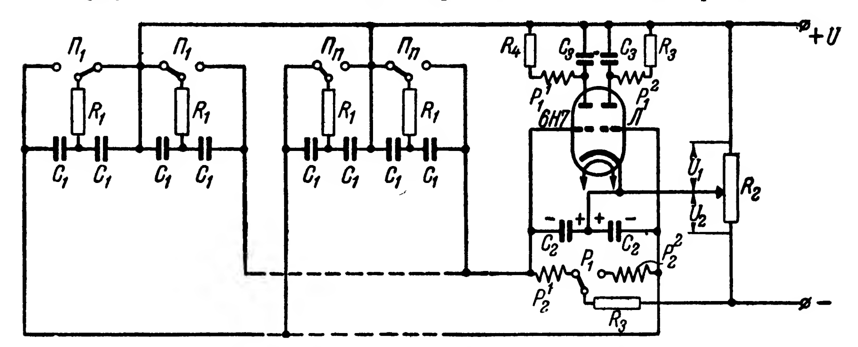


Фиг. 18. Принципиальная схема сумматора частотноимпульсной системы.

*Счетно-импульсная система ОДУ Юга.* В объединенном диспетчерском управлении энергосистем Юга по схеме, предложенной И. И. Михайловым, была разработана телеизмерительная система для передачи показаний суммарной мощности генераторов электростанций. Принципиальная схема сумматора мощности показана на фиг. 19.

Датчиками в этой системе служат трехфазные счетчики электрической энергии, снабженные прерывателями. Прерыватели воздействуют на реле, контакты которых $П_1$, $П_2$,...$П_n$

переключают цепи конденсаторных преобразователей $C_1R_1$. Зарядные импульсы конденсаторных преобразователей поступают на суммирующие конденсаторы $C_2$, включенные между сетками и общим катодом лампы *Л*. В анодные цепи лампы *Л* включены обмотки реле $P_1^1$ и $P_1^2$ таким образом, что при протекании анодного тока через одну из обмоток контакт $P_1$ перебрасывается в одну сторону, а при протекании тока через другую обмотку — в другую сторону. Благодаря этому конденсаторы $C_2$ поочередно подключаются к минусу источника питания; заряжаясь, они поочередно от-




**Фиг. 19. Принципиальная схема счетно-импульсного сумматора мощности.**

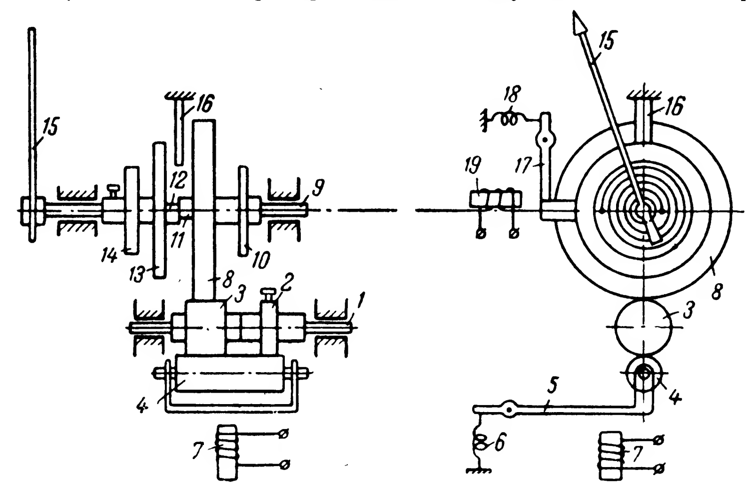
пирают то один, то другой триод лампы *Л*. Таким образом, число переключений контактов реле $P_1$ за определенное время пропорционально суммарной телеизмеряемой мощности.

Блокировочные конденсаторы $C_3$ обеспечивают надежное срабатывание реле $P_1$ и запасание самых коротких импульсов.

Для устранения погрешности от потери зарядных импульсов во время переброса контакта $P_1$ предусмотрено включение сопротивления $R_3$, которое замедляет темп переключения и обеспечивает независимость скорости переключения от частоты следования импульсов. Одновременно сопротивление $R_3$ препятствует возникновению колебаний в цепи с емкостью $C_2$ и индуктивностью катушек реле $P_2^1$ и $P_2^2$. Потенциометр $R_2$ служит для регулировки сумматора. Контакты реле $P_2$ коммутируют выходную цепь сумматора, посылая в линию связи импульсы разной полярности.

В приемнике (фиг. 20) воспроизведение измеряемой величины осуществляется по принципу счета импульсов, по-

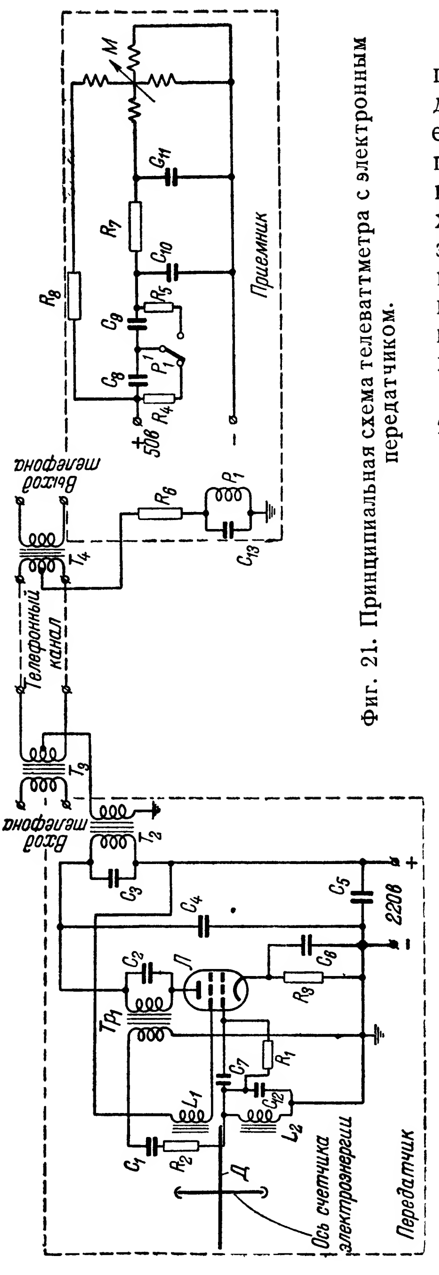
ступающих за промежуток времени 15 сек. Продолжительностью времени замера управляет местное реле времени. Импульсы принимаются электромагнитным реле. Реле своим контактом переключает обмотки возбуждения импульсного двигателя. При каждом импульсе в линии связи ротор импульсного двигателя поворачивается на определенный угол. С осью ротора связана ведущая ось *1*, которая




**Фиг. 20. Кинематическая схема электромеханического счетно-импульсного приемника.**

*1* — ведущая ось импульсного двигателя; *2* — шестерня, жестко связанная с ведущей осью; *3* — шестерня, свободно вращающаяся на ведущей оси; *4* — промежуточная шестерня; *5* — поворотный рычаг; *6* — пружина; *7* — отбойный электромагнит; *8* — ведущая шестерня; *9* — ось; *10* — спиральная пружина; *11* — поводок; *12* — поводок; *13* — тормозное колесо; *14* — спиральная пружина; *15* — указывающая стрелка; *16* — упор для ограничения обратного вращения шестерни; *17* — поворотный рычаг тормоза; *18* — пружина; *19* — возвратный электромагнит.

через шестерни *2—4—3—8* передает вращение тормозному колесу *13*, воздействуя поводком *11* на поводок *12*. Тормозное колесо вращает ось *9* и связанную с ней указательную стрелку прибора *15*. В конце цикла замера ось *1* останавливается, и кратковременно срабатывает сначала возвратный электромагнит *19*, а затем отбойный электромагнит *7*. В результате этого стрелка *15* фиксируется, а шестерня *8* сбрасывается на нуль, и импульсный двигатель включается на холостой ход. После отпускания электромагнита *7* шестерня *4* снова входит в зацепление с шестернями *2* и *3*, и начинается новый цикл измерений. В течение каждого цикла замера положение стрелки *15* корректируется.




Фиг. 21. Принципиальная схема телеваттметра с электронным передатчиком.

В последней конструкции И. И. Михайлова движущий механизм приемника видоизменен. Импульсный двигатель заменен миниатюрным синхронным двигателем, связанным с ведущей осью при помощи спускового механизма, управляемого поступающими из линии импульсами.

*Телеваттметр с электронным передатчиком.* Схема описываемого телеваттметра (фиг. 21) предложена Р. И. Сабининым (Узбекэнерго). Первичным измерительным прибором является индукционный счетчик электрической энергии с зубчатым диском *Д*, который вращается между индуктивностями $L_1$ и $L_2$ генератора с самовозбуждением *Л* (6П3). Тетрод 6П3 является одновременно генераторной лампой и усилителем мощности. При этом в схеме генератора роль анода играет экранирующая сетка.

При прохождении зубца диска *Д* между индуктивностями $L_1$ и $L_2$ генерация срывается, и постоянная составляющая анодного тока генераторной лампы увеличивается. Колебания вновь восстанавливаются при выходе зубца из зазора между ка-

тушками, вызывая уменьшение постоянной составляющей анодного тока. Таким образом, анодный ток генераторной лампы имеет характер импульсов, частота следования которых пропорциональна скорости вращения диска счетчика.

Катод, управляющая сетка и анод лампы 6П3 образуют усилитель мощности генератора. Связь генератора с усилителем мощности осуществляется через общий электронный поток лампы и частично через цепь $C_1R_2$. Конденсатор $C_3$ служит для увеличения длительности импульса; конденсаторы $C_5$ и $C_6$ — блокировочные. Импульсы поступают в линию через выходной трансформатор $T_2$.

Импульсы из линии связи воздействуют на поляризованное приемное реле $P_1$, контакт которого $P_1'$ управляет работой конденсаторного преобразователя $C_8R_4C_9R_5$. В качестве указывающего прибора используется логометр $M$. Конденсаторы $C_{10}$ $C_{11}$ и сопротивление $R_7$ образуют сглаживающий фильтр.

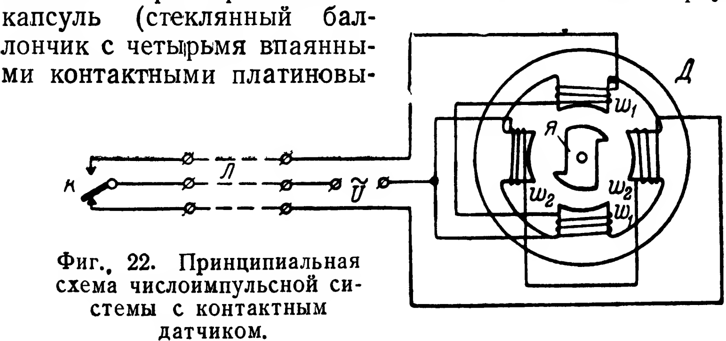
Преимущества телеваттметра заключаются в отсутствии контактных приспособлений в передающем устройстве. Кроме того, если использовать тональную частоту генератора в качестве несущей, то можно легко осуществить многократную передачу телеизмерений по линии связи.

**в) Числоимпульсные системы.** В этих системах роль вспомогательной величины играет число импульсов тока. Важнейшими областями применения числоимпульсных систем являются измерение расхода электроэнергии в сетях потребителей, расхода воды и газа в различных водо- и газопроводах, определение количества изделий, снимаемых, например, с конвейера, и т. д. Вследствие ограниченного числа передаваемых импульсов передача измеряемой величины носит ступенчатый характер; передаются не непрерывные значения измеряемой величины, а лишь определенные фиксированные ее значения. При таком методе телеизмерения изменение параметров канала связи не оказывает никакого влияния на точность телеизмерения. Основной недостаток числоимпульсных систем заключается в сложности конструктивных решений и введении дополнительных преобразований, уменьшающих точность измерения. Поэтому числоимпульсные системы в настоящее время применяются сравнительно редко.

В СССР были разработаны в 30-х годах числоимпульсные системы для целей интегрирования измеряемой величины.

*Числоимпульсная система с контактным датчиком.* Телеизмерительная система с механическим задающим контактом (фиг. 22) была разработана в ОЛИЗ по схеме, предложенной А. В. Фремке и В. В. Соколовым. Система предназначалась для нужд диспетчерского учета электроэнергии на предприятиях и рассчитана на необходимую для этого дальность действия в 3—5 *км*.

Первичным измерительным прибором этой системы является трехфазный индукционный счетчик электроэнергии. С передаточными зубчатыми колесами счетного механизма счетчика через кривошипный механизм соединен ртутный капсуль (стеклянный баллончик с четырьмя впаянными контактными платиновыми проволочками и с некоторым количеством ртути). Благодаря использованию кривошипного механизма ртутный капсуль совершает медленные качательные движения приблизительно по 90° в обе стороны от среднего положения, замыкая при этом то одну, то другую пару контактов *К* (фиг. 22). Передача осуществлена так, что ртутный контакт отмечает целые десятки ваттчасов.



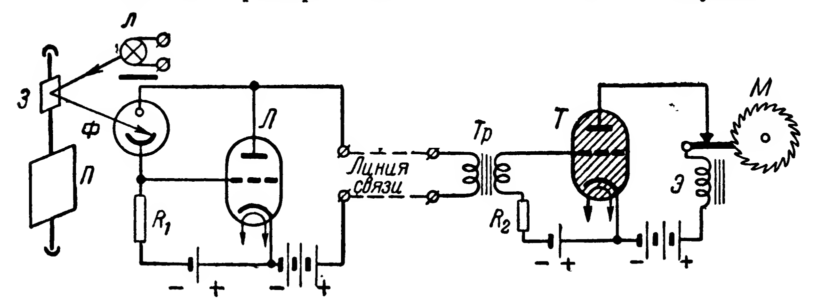

Фиг. 22. Принципиальная схема числоимпульсной системы с контактным датчиком.

Импульсы передаются по трехпроводной линии *Л*. Основной частью приемной установки является миниатюрный четырехполюсный двигатель *Д* с Z-образным якорем *Я*. При переключении ртутного контакта обмотки двигателя возбуждаются попеременно, и якорь при каждом импульсе поворачивается на четверть оборота в одну и ту же сторону. Движение якоря через зубчатую передачу сообщается приемному счетному механизму.

Недостатком этой системы является необходимость использования трехпроводной линии связи. Этот недостаток был устранен в другом варианте системы. Благодаря использованию одностороннего включения задающего кон-

такта передача в этом случае осуществляется по двум проводам.

*Числоимпульсная система с оптическим датчиком.* Телеизмерительная система с оптическим способом отсчета на дающей стороне была разработана в НИИТ (фиг. 23). В этой системе на оси дающего прибора *П* (счетчика электроэнергии) закреплено зеркальце *З*, отражающее при каждом обороте оси падающий на него луч света от лампы *л* на фотоэлемент *Ф*. Фототок фотоэлемента *Ф* усиливается усилителем *Л*. Очевидно, что с увеличением скорости вращения дающего прибора повышается частота импульсов




Фиг. 23. Принципиальная схема числоимпульсной системы с оптическим датчиком.

в линии связи. Импульсы с линии связи через входной трансформатор *Тр* поступают на вход тиратрона *Т* и отпирают его. Ток тиратрона управляет работой электромагнитного реле *Э*, якорь которого воздействует на приемный счетный механизм *М*. Последний отсчитывает число приходящих импульсов.

Как в описанных, так и в других числоимпульсных системах нет необходимости предъявлять жесткие требования к форме импульсов, так как для телеизмерений важно только число этих импульсов.

**г) Кодоимпульсные системы.** В кодоимпульсных системах каждое значение телеизмеряемой величины передается комбинацией импульсов и пауз, составленной по определенному закону. Для расширения возможностей комбинирования, кроме признаков существования или отсутствия импульсов, используются такие характеристики импульсов, как полярность, длительность, амплитуда, частота и т. д. Система условных сигналов (импульсов и пауз), соответствующих данной величине, называется кодом.

Задачей передающего устройства кодоимпульсной системы является образование кодированного сигнала для каждого значения измеряемой величины и посылка его в линию связи. Приемник преобразует принятый кодированный сигнал в угловое перемещение стрелки приемного прибора или в перемещние пера самописца. Как и в числоимпульсных системах, передача носит дискретный характер: передается только определенное число значений измеряемой величины.

Все сигналы кода могут быть построены как с одинаковым, так и с разным числом импульсов или пауз в каждом сигнале. Первая группа кодов называется комплектарной (в сигнал входит весь имеющийся в наличии комплект импульсов и пауз), вторая —некомплектарной (не все импульсы и паузы входят в сигнал). Комплектарные коды облегчают построение защиты от приема и исполнения искаженных сигналов, но требуют придания импульсам качественных признаков для образования сигнала комбинированием таких качественно различных элементов, т. е. используют качественное кодирование.

Существует несколько методов комбинирования качественно выделенных импульсов. Наиболее пригодным для телеизмерений является дуальный код (двоичный), который значительно экономнее других видов кода, т. е. требует меньшего числа импульсов. Сущность дуального кода заключается в следующем. Составляющим код импульсам присваиваются значения так называемого дуального ряда чисел. Членами этого ряда являются члены геометрической прогрессии со знаменателем, равным двум:

$$2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5 \ldots$$

$$1, 2, 4, 8, 16, 32 \ldots$$

Комбинация этих чисел, например по два, дает натуральный ряд чисел $1, 2, 1 + 2 = 3, 4, 1 + 4 = 5, 2 + 4 = 6 \ldots$ При дуальном коде допускается любая комбинация составляющих код импульсов при условии, что каждый элемент входит в комбинацию только один раз. Таким образом, разделив шкалу измерительного прибора на определенное число точек, можно передать значение величины в какой-либо точке комбинацией членов дуального ряда. Процесс кодирования обычно осуществляется с помощью релейных схем.

В технике кодоимпульсных телеизмерений важен также декадный код, который образуется следующим образом.

Все импульсы делятся на группы по десять импульсов. Каждая комбинация составляется из выбирающих импульсов, взятых по одному из каждой группы. Декадный код позволяет сделать очень малой погрешность от выражения измеряемой величины конечным числом значений.

*Кодоимпульсная система с дуальным кодом.* В первой кодоимпульсной системе, разработанной в МЭИ О. А. Горяиновым и Г. М. Ждановым, используется полярно-импульсный комплектарный код с комбинированием импульсов по дуальному закону. Для лучшего уяснения сущности кодоимпульсного метода вспомогательные цепи этой системы (цепи защиты и т. д.) здесь не рассматриваются.

Кодирование величины измеряемого напряжения $U_x$ осуществляется с помощью релейного автокомпенсатора *А* (фиг. 24). Поданному на вход автокомпенсатора напряжению $U_x$ противопоставляется напряжение $U_к$, снимаемое с дуального ступенчатого реохорда между точками *аб*. Напряжение $U_к$ может ступенчато регулироваться с помощью дуальных реле ($2^0$, $2^1$, $2^2$, $2^3$...). Состояние баланса напряжений $U_x$ и $U_к$ определяется трехпозиционным нуль-реле *НР*. Реохорд состоит из двух одинаковых наборов дуальных сопротивлений (правая и левая половины). Число секций реохорда равно 22. Каждая секция шунтирована контактом соответствующего дуального реле.

Релейный автокомпенсатор воздействует на цепи передачи *Б*. Схема работает следующим образом. Пусть на вход автокомпенсатора подано напряжение $U_x$. Тогда за счет тока разбаланса срабатывает нуль-реле *НР*. Его контакт $НР_а$ переключается направо. По цепи *28—40* в схеме передачи через нулевой контакт поля *II* автопереключателя *АП* срабывает реле *П*, подключенное к средней точке батареи. Контактом $П_б$ разрываются цепи блокировки всех дуальных реле, их контакты *в* замыкаются, а контакты *г* размыкаются. В результате этих операций предшествующий сигнал снимается, и схема подготавливается к образованию кода для поданной на вход автокомпенсатора величины напряжения.

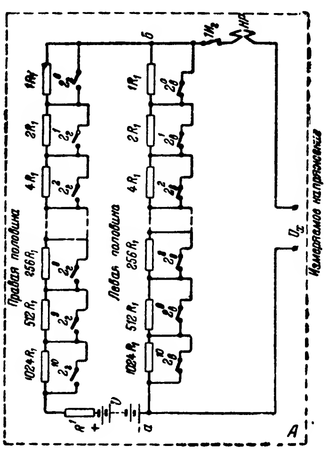
Контакт $П_а$ возбужденного реле *П* замыкает цепь *29—30* реле *2П*, которое своим контактом $2П_а$ в цепи *31—32* включает реле *1И*, запуская пульс-генератор *1И—2И*. Далее возбуждается электромагнит *ЭМ*. Одновременно с помощью контакта $1И_в$ подается минус-импульс в линию связи, а с помощью контакта покоя $1И_г$ разрывается цепь нуль-реле

*НР*. Контакт $НР_а$ снова переходит в среднее положение, и разрывается цепь реле *П*. Контакт $П_б$ замыкает цепь блокировки дуальных реле. После этого обесточиваются реле *1И*, *2И*, *ЭМ*, и осуществляется переход щеток автопереключателя *АП* на первый контакт. Контакт $1И_в$ размыкается, и ток в линии прерывается. Наконец, контакт $1И_г$ восстанавливает цепь нуль-реле; оно срабатывает и перекидывает свой контакт $НР_а$ направо.

После того как щетки автопереключателя *АП* перешли на 1-й контакт на всех полях *I, II, III, IV*, пусковое реле *2П* получает питание по цепи *27—30* через короткозамкнутое поле *III* автопереключателя *АП*. Щетки автопереключателя *АП* совершают обход всех контактов. Когда щетки автопереключателя установятся на первом контакте, срабатывает дуальное реле $2^{10}$ по цепи *1—2* и блокируется контактом $2_а^{10}$. Рабочим контактом $2_б^{10}$ оно подает плюс батареи на 3-й контакт поля *IV* автопереключателя *АП*. Контактом $2_в^{10}$ в левую половину автокомпенсатора вводится секция $1024\,R_1$ реохорда, а контактом $2_г^{10}$ выводится такая же секция из правой половины. Если при этом балансировка напряжений $U_x$ и $U_к$ не произошла, нуль-реле *НР* срабатывает и снова переводит свой контакт $НР_а$ направо. Контакт $П_б$ остается замкнутым, так как не образуется замкнутой цепи для реле *П*.

При переходе щеток автопереключателя на второй контакт дуальное реле $2^{10}$ остается блокированным вследствие подачи минуса от точки *28* через второй контакт поля *П*. После перехода щеток на третий контакт срабатывает кодирующее реле *КП* и своими контактами $КП_а$ и $КП_б$ переключает линию связи, подготовляя посылку импульса положительной полярности. При этом срабатывает реле *1И*, и в линию связи посылается плюс-импульс, представляющий дуальное реле $2^{10}$ передатчика. Он служит для выбора реле с тем же номером в дешифраторе приемника. В то же время по цепи *1—4* дуальное реле $2^9$ срабатывает, самоблокируется контактом $2_а^{10}$ и контактом $2_б^{10}$ и подает плюс батареи на пятый контакт поля *IV*. В автокомпенсаторе контакт $2_в^9$ вводит в левую половину сопротивление $512R_1$, а контакт $2_г^9$ замыкает накоротко такое же сопротивление в правой половине. Щетки переходят на четвертую

ламель. Если в этот момент произошла перекомпенсация напряжений $U_{x1}$ и $U_{к}$, т. е. включилось сопротивление бо̀льшей величины, чем необходимо для компенсации, то направление тока в обмотках нуль-реле меняется, а контакт $НР_{а}$ переключается налево. В этом случае образуется цепь *25* — 4-й контакт поля *II* — нижний конец обмотки дуального реле $2^{9}$; последнее теряет блокировку, отпускает якорь и в дальнейшем не может возбудиться. Контакты $2_{з}^{9}$ и $2_{г}^{9}$ выводят сопротивление $512R_{1}$ в левой части и вводят такое же сопротивление в пра-



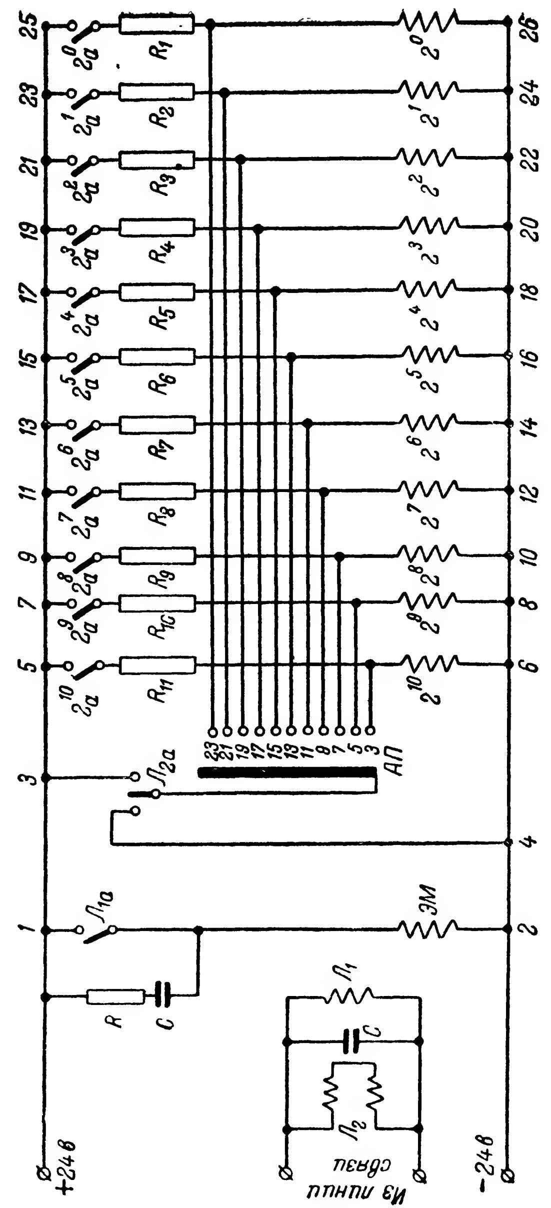
Фиг. 24. Принципиальная схема передатчика кодо-импульсной системы с дуальным кодом.

вой части компенсатора. Вновь возникнет недокомпенсация и переключение контактов нуль-реле *НР* направо.

Далее щетки переходят на 5-й контакт. В линию посылается минус-импульс, запрещающий выбор дуального реле $2^9$ в приемнике. На 5-ом контакте поля *I* сработает дуальное реле $2^8$. Оно самоблокируется контактом $2_a^{\ 8}$ и подключает седьмую ламель поля *IV* к плюсу батареи (точка *53*), контактом $2_в^{\ 8}$ вводит сопротивление $256R_1$ в левую половину автокомпенсатора и контактом $2_г^{\ 8}$ замыкает накоротко такое же сопротивление в его правой половине.

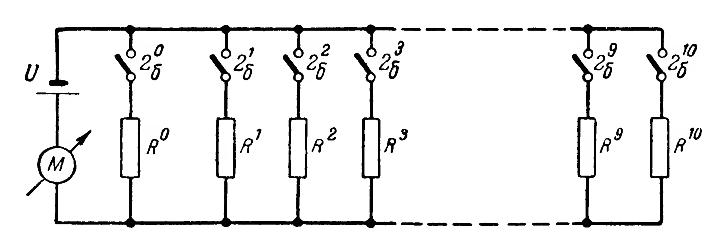
Такой процесс «ощупывания» измеряемого напряжения производится в течение всего цикла работы. В результате наступает компенсация напряжения $U_x$. Щетки автопереключателя *АП* возвращаются на нулевой контакт, контакт $НР_а$ занимает среднее положение, так как $U_x$ и $U_к$ сбалансированы. Реле *2П* отпускает якорь, так как разрывается цепь реле *П*; работа пульс-генератора прекращается. Новый цикл передачи наступит только при новом значении измеряемой величины.

Схема приемника показана на фиг. 25. Импульсы воспринимаются линейными реле $Л_1$ и $Л_2$. Реле $Л_1$ работает независимо от полярности импульсов. Оно воздействует на электромагнит *ЭМ,* передвигающий щетку автопереключателя *АП* синфазно с перемещением щеток автопереключателя передатчика. Реле $Л_2$ поляризованное. При минус-импульсах оно переводит свой контакт $Л_{2а}$ в левое положение, при плюс-импульсах — в правое. В то время, когда щетки автопереключателя *АП* стоят на 3-м контакте, как описано выше, приходит положительный импульс и с помощью реле $Л_2$ возбуждается дуальное комбинаторное реле $2^{10}$ (по цепи *3—6*). Когда щетки автопереключателя устанавливаются на 5-ом контакте, приходит минус-импульс, контакт $Л_{2а}$ переключается в левое положение, обмотка реле $2^9$ замыкается накоротко и оно не возбуждается. Это и требовалось при описанных выше условиях (дуальное реле $2^9$ передатчика не возбуждено). Далее приемные реле будут срабатывать в соответствии с полярностью приходящих из линии связи импульсов. Возбужденные реле замкнут свои контакты в схеме указывающего прибора (фиг. 26) и включат сопротивления *R*, подобранные по дуальному закону. Ток, текущий через прибор *М*, будет пропорционален измеряемой величине.




Фиг. 25. Принципиальная схема приемника кодоимпульсной системы с дуальным кодом.

Основные преимущества рассмотренной системы состоят в том, что она обладает малой погрешностью телеизмерений и позволяет легко осуществить телеизмерение неэлектрических величин. Недостатком системы являются сравнительная сложность релейной схемы и необходимость весьма тщательной калибровки сопротивлений автокомпенсатора.




Фиг. 26. Схема включения указывающего прибора *М* в приемнике кодоимпульсной системы с дуальным кодом.

*Кодоимпульсная система с декадным кодом.* Вторым вариантом кодоимпульсной системы, разработанной в МЭИ Г. М. Ждановым и О. А. Горяиновым, явилась система, в которой применен комплектарный декадный код с временным кодированием импульсов. Эта система была разработана в 1942 г. и усовершенствована в 1943—1944 гг. применительно к измерению уровня воды в водохранилище гидростанции.

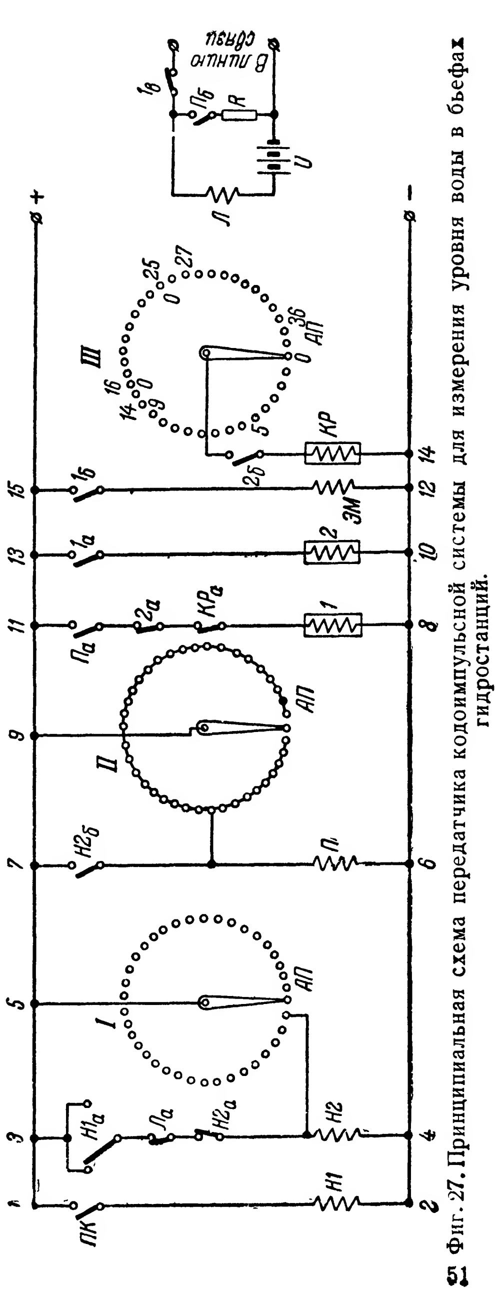
Система состоит из передающего и приемного полукомплектов. В состав передающего полукомплекта входит шифратор и передатчик. Приемный полукомплект состоит из приемника, исполнительного устройства, устройства защиты от приема искаженных сигналов и устройства автоматического запроса о повторении сигнала.

Шифратор системы состоит из следующих трех неподвижных колец с контактными пластинами: кольца сантиметров, кольца дециметров и кольца метров. Первые два кольца разделены на 10 контактных пластин; последнее кольцо — на семь пластин. По пластинам скользят щетки, приводимые в движение первичным измерителем (поплавковым датчиком уровня) через четыре связанные между собой шестерни. Передаточное отношение каждой пары шестерен равно 10. Пластины неподвижных колец служат для подачи напряжения на контакты поля *III* автопереключателя *АП* в схеме передатчика (фиг. 27).

Запуск системы происходит при изменении уровня воды на 1 *см* с помощью пускового контакта.

Принципиальная схема передатчика представлена на фиг. 27. Передатчик содержит 7 слаботочных телефонных реле, из которых *Н1* и *Н2* — начинающие реле, *П* — пусковое реле, *1* и *2* — реле, образующие пульс-пару, *КР* — кодирующее реле, *Л* — линейное реле. Кроме того, в состав передатчика входит автоматический переключатель *АП* типа И-50 завода «Красная Заря».

Схема действует следующим образом. При изменении уровня воды на 1 *см* пусковой контакт *ПК* шифратора, замыкаясь, возбуждает начинающее реле *Н1*. Так как в состоянии покоя второе начинающее реле *Н2* возбуждено через нормально замкнутый контакт $Л_а$ и контакт самоблокировки $Н2_а$, то при каждом срабатывании и отпускании реле *Н1* реле *Н2* отпускает якорь и деблокируется. При отпускании якоря реле *Н2* замыкает кон-

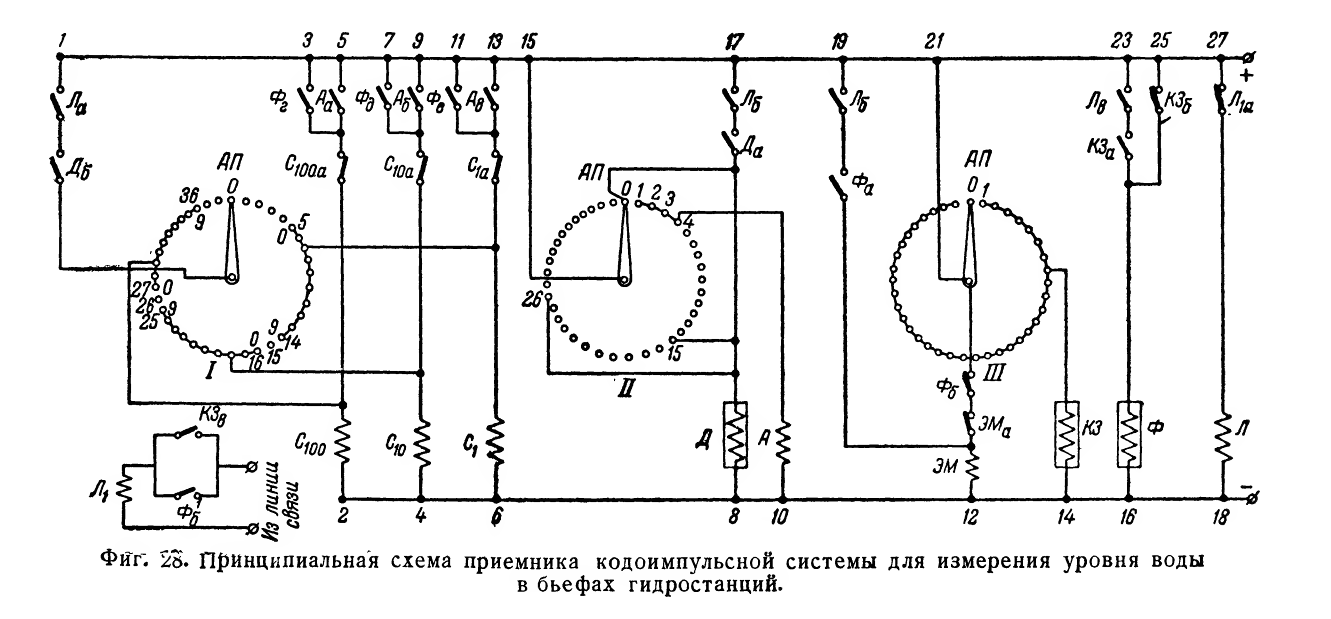



Фиг. 27. Принципиальная схема передатчика кодоимпульсной системы для измерения уровня воды в бьефах гидростанций.

тактом $H2_б$ пусковое реле $П$, с помощью которого поочередно включаются реле пульс-генератора 1 и 2 и подпитывается линейное реле $Л$. Реле пульс-генератора 1 контактом $1_б$ возбуждает электромагнит $ЭМ$, а контактом $1_в$ разрывает цепь линии связи. Под действием электромагнита перемещаются щетки автопереключателя $АП$. При переходе щетки автопереключателя $АП$ на 1-й контакт поля $II$ пусковое реле $П$ блокируется по цепи 9—6 на весь цикл движения щеток автопереключателя через замкнутое поле $П$ автопереключателя. На 1-м контакте поля $I$ снова возбуждается реле $H2$ по цепи 5—4 и самоблокируется контактом $H2_а$.

Так как за один обход щеток автопереключателя передаются значения метров, дециметров и сантиметров, то контакты 5—14, 16—25, 27—36 поля $III$ автопереключателя соединены с пластинами соответствующих колец шифратора и, следовательно, по одному контакту из каждой группы находится под напряжением. При установке щетки на этих контактах три раза сработает реле $КР$. Своим контактом покоя $КР_а$ оно меняет темп работы реле 1 и вызывает образование трех удлиненных импульсов. После окончания цикла движения щеток разрывается цепь пускового реле $П$, и прекращается работа пульс-генератора. Таким образом, во время работы схемы в линию связи посылаются короткие и длинные импульсы.

Импульсы телесигнала в приемном устройстве (фиг. 28) принимаются реле $Л_1$, возбужденным в спокойном состоянии установки, так как линия обтекается при этом контрольным током. Кроме того, импульсы воспринимаются повторителем $Л$ по цепи 27—18. Реле $Ф$ также возбуждено через нормально замкнутый контакт $КЗ_б$. Этим самым возбуждается электромагнит $ЭМ$. Однако перед принятием нового сигнала производится сбрасывание предыдущего показания прибора. Сбрасывание осуществляется с помощью реле $А$, возбуждаемого при приходе щетки поля $II$ на 1-й контакт. Реле $А$ остается возбужденным в течение времени движения щетки по контактам 1—4. В это время контакты $А_а$, $А_б$, $А_в$ замыкают цепи приводных электромагнитов счетчиков сотен, десятков и единиц $C_{100}$, $C_{10}$, $C_1$, которые быстро сбрасывают свои показания. На 1-м контакте поля $III$ срабатывает реле $КЗ$ и замыкает свой рабочий контакт $КЗ_а$ в цепи реле $Ф$, сильно замедленного на отпускание. Поэтому оно




Фиг. 28. Принципиальная схема приемника кодоимпульсной системы для измерения уровня воды в бьефах гидростанций.

не успевает отпустить якорь при импульсе в линии. Реле *Д*, цепь которого (*15—8*) нарушается в это же время, также не успевает отпустить при нормальной длительности импульса (короткий импульс).

После того как щетки автопереключателя устанавливаются на 5-м контакте, начинают поступать импульсы единиц (через контакты $Л_а$ и $Д_б$). Они отсчитываются счетчиком единиц $С_1$. За время удлиненного импульса реле *Д* успевает отпустить, разблокироваться и разорвать цепь счетчика $С_1$, фиксирующего число принятых импульсов. После прихода щеток на 15-ю ламель реле *Д* снова возбуждается и своим контактом $Д_б$ подготавливает цепь счетчика десятков $С_{10}$, который начинает работать с момента прихода щетки поля *I* на 16-й контакт. Цепь счетчика десятков разрывается очередным удлиненным импульсом. На 27-м контакте начинает работать счетчик сотен. Его цепь рвется 3-м удлиненным импульсом. После разрыва цепей всех счетчиков заканчивается цикл телеизмерений. По показаниям этих трех счетчиков отсчитывается отметка уровня воды.

При искажении сигнала за счет потери импульса или прихода добавочного импульса щетки автопереключателя либо не дойдут до нулевой ламели, либо перейдут ее. В обоих случаях реле *КЗ* остается возбужденным, и питание реле *Ф* осуществляется по цепи *23—16*. Когда поступление импульсов прекращается, реле *Ф* отпускает якорь и своим контактом $Ф_б$ подключает электромагнит *ЭМ* к источнику питания. Электромагнит в быстром темпе доводит щетки до нулевого контакта. По окончании доводки реле *Ф* контактами $Ф_г$, $Ф_д$ и $Ф_е$ сбрасывает принятый искаженный сигнал. Таким образом, в этой системе предусмотрена защита от приема искаженных сигналов.

При искажении сигнала повторный вызов передачи показаний осуществляется следующим образом. Линейное реле $Л_1$ подключено к линии связи через контакты $Ф_б$ и $КЗ_в$. В процессе работы оба контакта замкнуты. После доводки и сброса показаний эти контакты размыкают цепь реле $Л_1$. Затем по цепи *25—16* включается реле *Ф* и замыкает контакт $Ф_б$ Цепь линии размыкается на время срабатывания реле *Ф*. В передатчике линейное реле рвет цепь реле *Н2*, которое контактом $Н2_б$ замыкает цепь пускового реле *П*. Это вызывает повторную посылку сигнала.

Система с декадным кодом была создана для измерения уровня воды с большой точностью. Система, созданная в 1942 г., измеряла уровень воды с точностью до $\pm 20$ *см* при колебании уровня в 7 *м* (относительная погрешность измерений составляет, следовательно, 0,3%). Усовершенствованная система, разработанная в 1943—1944 гг., может измерять уровень воды с точностью до $\pm 1$ *см* при колебании уровня в 14 *м* (относительная погрешность измерений в этом случае составляет всего 0,07%).

Таким образом, при наличии защиты от исполнения искаженных сигналов система с декадным кодом обеспечивает высокую точность телеизмерений.

*Погрешности кодоимпульсных систем.* Основное преимущество кодоимпульсных телеизмерительных систем заключается в следующем: если эти системы защищены от исполнения искаженных сигналов, то результаты телеизмерений принципиально не зависят от состояния канала связи. Перерыв в измерениях может произойти только вследствие аварии на линии связи или фединга на радиоканале. При других же методах телеизмерений в той или иной степени влияние линии связи всегда сказывается. Однако кодоимпульсным системам присущи свои специфические погрешности, отсутствующие при использовании других методов телеизмерений.

Одной из основных погрешностей таких систем является погрешность дискретности, обусловленная тем, что передаются не все текущие значения шкалы первичного измерительного прибора, а только конечное число этих значений. Значения измеряемой величины, лежащие между точками, которые подлежат передаче при данном коде, не передаются. Следовательно, в эти моменты времени нельзя знать точных значений измеряемой величины. Погрешность дискретности в устройствах с релейными компенсаторами выражается как погрешность балансирования напряжений $U_x$ и $U_к$. В самом деле, так как величины сопротивлений реохорда имеют конечное значение, не представляется возможным точно сбалансировать напряжения $U_x$ и $U_к$. Но соответствующим выбором параметров схемы и числа импульсов, участвующих в образовании кода, погрешность дискретности может быть сделана достаточно малой. Например, при учете семи первых чисел дуального ряда может быть передано $2^7 = 128$ значений шкалы первичного изме-

рительного прибора; при учете же одиннадцати чисел дуального ряда число этих значений равно $2^{11} = 2\,048$.

Погрешность дискретности выражается также в погрешности исполнительной схемы, которая представляет собой магнитоэлектрические приборы, включенные последовательно с пучком сопротивлений, соединенных параллельно (см. фиг. 26). Последние же при измерениях включаются в схему измерительного прибора $M$ контактами комбинаторных реле по дуальному (или другому) закону. Приемный прибор, следовательно, суммирует отдельные небалансные токи. Иными словами, набор сопротивлений (проводимостей) преобразуется схемой в набор токов. Это преобразование сопровождается появлением дополнительной погрешности, которая соответствующим расчетом и выбором параметров схемы может быть сведена к допустимому минимуму.

Кроме погрешности дискретности и погрешности исполнительной схемы присутствует погрешность первичного измерительного прибора и приемного прибора.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Фремке, Телеизмерительные системы дальнего действия, 1946 г.
2. В. Штеблейн, Техника дальнодействующих устройств, 1939 г.
3. Автоматизация и телемеханизация гидроэлектростанций, Сборник статей, 1950 г.
4. Г. М. Жданов, Телеизмерения, Кодоимпульсные системы, вып. 13, 1949 г.
5. Б. И. Доманский, Введение в автоматику и телемеханику, 1950 г.

---

## ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

| Система прибора | Назначение | Принцип действия | Погрешность |
|---|---|---|---|
| Магнитоэлектрическая | Непосредственное измерение силы тока и напряжения в цепях постоянного тока. При применении термопреобразователей и выпрямителей измерение силы тока и напряжения в цепях переменного тока | Вращающий момент создается благодаря взаимодействию между полем постоянного магнита и одним или несколькими проводниками с током | 0,2—2,5% |
| Электромагнитная | Измерение силы тока и напряжения в цепях переменного и постоянного тока | Вращающий момент создается благодаря взаимодействию между одной или несколькими катушками с током и одной или несколькими частями из мягкого ферромагнитного материала | 1,5—2,5% |
| Электродинамическая | Измерение силы тока, напряжения и мощности в цепях постоянного и переменного тока промышленной частоты | Вращающий момент создается благодаря взаимодействию двух магнитных потоков, создаваемых током, протекающим по обмотке подвижной катушки, и током, проходящим по обмотке неподвижной катушки | 0,2—0,5% |
| Индукционная | Измерение мощности и электроэнергии в цепях переменного тока одной, определенной частоты | Движение подвижной части измерителя создается токами, индуктированными в ней вращающимся, бегущим или переменным магнитным полем | 2—2,5% |
| Термоэлектрическая | Измерение силы тока в цепях переменного тока высокой частоты | Прибор состоит из измерителя высокой чувствительности магнитоэлектрической системы и термопреобразователя | 1—5% |
| Электростатическая | Измерение напряжения в цепях переменного и постоянного тока | Движение подвижной части измерителя создается благодаря взаимодействию электрически заряженных металлических тел | 1,5—3% |
| Детекторная | Измерение силы тока и напряжения в цепях переменного тока частоты до 10 *кгц* | Прибор состоит из измерителя магнитоэлектрической системы и одного или нескольких купроксных выпрямителей, помещенных обычно в корпус прибора | Не менее 1,5% |

Цена 1 р. 70 к.